

FARBENLEHRE

VON

LUDWIG MAUTHNER.

DER „FUNCTIONSPRÜFUNG“ ERSTER THEIL.

ZWEITE, VIELFACH GEÄNDERTE AUFLAGE.

WIESBADEN.
VERLAG VON J. F. BERGMANN.
1894.

Kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.

DEM

ALTMEISTER DER AUGENHEILKUNDE

CARL STELLWAG VON CARION

ALS SCHWACHES ZEICHEN

TIEFER VEREHRUNG

UND

DANKBARKEIT.

I.

PRÜFUNG DES FARBENSINNES.

INHALT.

§ 1. Das Subjective und das Objective der Farbe.

Man kann die Farbe nicht blos als etwas Subjectives, sondern, falls man, wie die Gelehrten thatsächlich nicht übel Lust haben, die Undulationstheorie für nackte Wahrheit hält, als etwas Objectives ansehen. Und es scheint mir, dass die beiden Farbentheorien, die noch immer um die Herrschaft ringen, sich dadurch unterscheiden liessen, dass die eine, die neuere, sich auf den rein subjectiven Standpunkt stellt, während die zweite, die ältere der beiden Theorien, bis zu einer gewissen Grenze in einer, ich möchte sagen, objectiven Art gestützt werden könnte.

Man wird gleich begreifen, was ich meine. Wenn ich in einem Spectralapparate die Natriumlinie leuchten lasse, so sehe ich einen schön gefärbten Streifen, dessen Farbe ich gelb nenne. Auch mein Mitmensch, der sich eines normalen Farbensinns erfreut, nennt diesen Streifen gelb. Ob er auch dieselbe Empfindung, wie ich, hat, das ist eine ganz andere Frage, die wir niemals lösen werden. Es wäre immerhin denkbar, dass wenn ich diese gelbe Natriumlinie plötzlich mit dem Auge eines Andern sehen könnte, ich eine ganz verschiedene, ja möglicherweise eine mir ganz neue, bisher gänzlich unbekannte Farbenempfindung erhielte. Anderseits ist es aber ganz gut möglich und gar nicht unwahrscheinlich, dass alle farbentüchtigen, der Species: Homo sapiens zugehörigen Bewohner unseres Planeten das Gelb in gleicher Weise empfinden. Sicher ist es, dass sie Alle die Natriumlinie gelb nennen. Bei allen diesen Individuen erzeugt auch das Gelb der Natriumlinie eine einheitliche Farbenempfindung. Wenn

ich also unter Farbe die Empfindung der Farbe verstehe, wenn ich die Farbe rein subjectiv auffasse, so ist das Gelb unzweifelhaft eine einfache Farbe; und von diesem Naturstandpunkte aus, der mit Wissenschaft und Gelehrsamkeit nichts zu thun hat, kann ich in der That denjenigen belächeln, der mir sagt, dass dieses Gelb aus Roth und Grün zusammengesetzt sei, da ich in diesem Gelb weder Roth, noch Grün, am allerwenigsten aber Roth und Grün, sondern eine von beiden Farben ganz verschiedene, vollkommen einheitliche Farbe sehe. Als Gelehrter freilich könnte ich die Sache nicht für so einfach erklären, denn da müsste ich wissen, dass es nicht unmöglich wäre, dass sich in meinem Gehirne die Erregungen für Roth und Grün zu einer dritten, von den beiden Componenten ganz verschiedenen, resultirenden Empfindung, jener des Gelb, zusammensetzen könnten.

Besteht jedoch kein zwingender Grund für eine solche Annahme, dann hätte ich auch als Mann der Wissenschaft keine Ursache eine Theorie zu acceptiren, die mich zu glauben nöthigt, dass Gelb aus Roth und Grün und dass Blau, das eine ebenso einheitliche Empfindung wie das Roth, Grün und Gelb ist, etwa aus Grün und Violet zusammengesetzt sei. Auf den rein subjectiven Standpunkt mich stellend, erkläre ich die Empfindung von Gelb und Blau ebenso für eine einfache, Grund- oder Urempfindung wie die Empfindung von Roth und Grün; und Gelb und Blau sind demnach ebenso einfache, Grund- oder Urfarben, wie Roth und Grün.

Diese subjective Auffassung der Farben gilt nur für das Auge des Erdenmenschen und nur insolange, als der Netzhaut und des Gehirns Bau und Funktion sich nicht im Laufe der Aeonen ändern. So wenig Reales haftet einer solchen Auffassung an, dass wir absolut keine Vorstellung erlangen können von den Farbenempfindungen der Thiere und dass wir uns nicht einbilden dürfen, auch die mit Vernunft (wenn man nach ihren Werken urtheilen darf, sogar mit mehr Vernunft wie wir) begabten Bewohner des Mars hätten die 4 Grundfarben: Roth, Grün, Gelb und Blau.

Etwas anders steht die Angelegenheit, falls wir die Farben von der objectiven Seite betrachten. Allerdings existirt diese Auffassung in concreter Form nur für Jene, welche die

Undulationstheorie nicht blos für eine Theorie halten, die etwas besser als die frühere Emanationstheorie ist, sondern die glauben, dass der Aether wirklich existirt — man hat sogar sein Gewicht bestimmen wollen — und dass der „leuchtende" Körper diesen Aether in Schwingungen versetzt. Auf solchem Standpunkte können wir ganz objectiv von „Aetherschwingungen bestimmter Schwingungsdauer oder Wellenlänge" sprechen. An der Fraunhofer'schen Linie B im Spectrum sehen alle farbentüchtigen Menschenaugen Roth. Spreche ich aber nicht von Roth, sondern von „Aetherschwingungen mit einer Wellenlänge von 687 Milliontel Millimeter", dann habe ich das subjective Element der Farbe vollkommen eliminirt. Nenne ich nicht die Empfindung, sondern die „Aetherschwingungen mit einer Wellenlänge von 687 Milliontel Millimeter" der Kürze wegen Roth — ich könnte auch ein anderes Wort gebrauchen — dann existirt dieses Roth ganz objectiv, solange der Aether in Schwingungen versetzt wird, ganz unabhängig davon, ob es Menschen gibt, die diese Schwingungen als Roth empfinden oder nicht. Ein solches Roth existirt auch für die Farbenblinden, es existirt für die Marsbewohner, es existirt für Thiere und Pflanzen und es würde existiren, auch wenn alle lichtempfindenden Lebewesen aus dem Weltall verschwunden wären.

In dieser objectiven Weise kann man alle Farben des Spectrums kennzeichnen und in dieser objectiven Weise könnte man auch die Farben des Spectrums zusammensetzen. Denken wir, es wird ein Aethermolekül angegriffen von einer Kraft, die dasselbe in Schwingungen mit einer Wellenlänge von 656 $\mu\mu$ (Milliontel Millimeter) und von einer zweiten Kraft, die für sich dasselbe Molekül in gleichsinnige Schwingungen mit einer Wellenlänge von 526 $\mu\mu$ versetzen würde, dann könnte man sich, wenngleich man in dieser heiklen Frage sich nicht auf die geltenden Gesetze der Mechanik stützen könnte, vorstellen, dass das Resultat der gleichzeitigen Einwirkung beider Kräfte eine Aetherschwingung wäre mit einer Wellenlänge, die kleiner als die des ersten aber grösser als die des zweiten Lichtes ist, dass also das betroffene Aethertheilchen nicht so langsam schwingt, wie es der grösseren und nicht so schnell schwingt, wie es der kleineren Wellenlänge entspricht, sondern dass es nunmehr eine mittlere Schwingungsdauer mit einer mittleren Wellenlänge er-

langt. Die resultirende Aetherschwingung hätte eine Wellenlänge von 589 $\mu\mu$.

Aetherschwingungen, mit einer Wellenlänge von 589 $\mu\mu$ auf die Netzhaut hämmernd, erzeugen die Empfindung von Gelb (denn das Gelb des Spectrums hat eine Wellenlänge von 589 $\mu\mu$), während von den Componenten die eine (Schwingung mit Wellenlänge von 656 $\mu\mu$) die Empfindung des Roth im Spectrum, die zweite (Schwingung mit Wellenlänge von 526 $\mu\mu$) die Empfindung des Grün im Spectrum auslöst. Auf diese Weise würde, auch wenn wir bis jetzt nicht im Stande sind, das Gelb des Spectrums in Roth und Grün zu zerlegen, begreiflich, dass rothes und grünes Licht gemischt Gelb gibt, ohne dass man genöthigt wäre, besondere und complicirte Endapparate in der Netzhaut und im Gehirne anzunehmen, um die gelbe Empfindung aus der Mischung von Roth und Grün und in analoger Weise die Blauempfindung etwa aus der Mischung von Grün und Violet zu erklären, sowie andererseits das Argument vollkommen hinfällig würde, dass, weil Gelb und Blau einheitliche Empfindungen sind, diese Farben nicht aus zwei oder mehreren anderen zusammengesetzt sein könnten.

Wollte man diese objective Theorie der Farben verallgemeinern, so müsste gezeigt werden, dass auch jene Farben, welche im Sonnenspectrum nicht vorkommen d. i. Purpur und Weiss ebenfalls einer bestimmten Art der Aetherschwingung entsprechen.

Dadurch, dass das weisse Licht durch das Prisma in seine Componenten zerlegt wird und weil Purpur durch das Prisma in zwei Farben (Roth und Blau oder Violet) zerfällt, wäre für einen schwärmerischen Anhänger der rein objectiven Theorie noch lange nicht der Beweis geliefert, dass der weisse und purpurne Strahl nicht einer bestimmten uns noch unbekannten Aetherbewegung entsprechen, einer Aetherbewegung, welche die Resultirende der Aetherbewegungen der zusammensetzenden Lichter ist; und so würde auch objectiv erklärt, wieso die Mischung von farbigen Lichtern z. B. von Rothgelb, Grün und Violet oder von Roth, Grüngelb und Blau Weiss gibt, indem eben die Resultirende der Aetherschwingungen dieser Lichtsorten eine Aetherbewegung von jener Beschaffenheit wäre, die auf unsere Netz-

haut treffend die Weissempfindung hervorruft. Schwarz würde dann empfunden, wenn die Netzhaut an ruhenden Aether grenzt.

Dem Einwurf, den man gegen eine solche objective Auffassung dadurch erheben könnte, dass gewisse Farben, wie das reine Roth und Grün nicht aus anderen Spectralfarben zusammengesetzt werden können, wäre allenfalls damit zu begegnen, dass man sagt, dass die Aetherschwingungen mit jenen Wellenlängen, deren Zusammensetzung die Schwingungen Roth und Grün bilden, nicht im Spectrum vorhanden zu sein brauchten, oder richtiger: dass im Spectrum zwar eine der Componenten sich findet, die andere aber nicht. Für Roth, das an der Grenze des Spectrums liegt, müsste sogar nach einer solchen Vorstellung die eine Componente, jene mit der grösseren Wellenlänge, im unsichtbaren Ultraroth gelegen sein. Man vermöchte, wenn dies gleich auf ein anderes Gebiet gehört, darauf hinzuweisen, dass für das Grün des Spectrums eine Complementärfarbe angenommen wird, die im Spectrum nicht existirt — Purpur.

Eine solche rein objective Auffassung der Farben, durch welche die ganze Lehre von der Farbenempfindung und von der Farbenblindheit sehr vereinfacht würde — könnte selbst bei den überzeugtesten wissenschaftlichen Anhängern der Undulationstheorie keinen Anklang finden.

Ketzerei würde der gelindeste Ausdruck sein für eine Anschauung, die sich nicht damit befreunden kann, dass das weisse Licht ein Conglomerat von Aetherschwingungen der verschiedensten Wellenlänge ist, die vielmehr dem weissen Lichte ebenfalls eine bestimmte Aetherbewegung zuschreibt, die wir als solche noch nicht und von der wir nur mit Hilfe des Prismas die Componenten kennen.

Aber auch dem Vorwurfe der Unwissenheit würde ein solcher Revolutionär nicht entgehen, weil die Erscheinungen der Interferenz gegenwärtig sich nur erklären lassen, wenn man das weisse Licht als ein Gemisch der verschiedenartigsten Farbenlichter ansieht. Solch ein indirecter Beweis hätte jedoch keinen Halt. Denn wer bürgte dafür, dass die gegenwärtige Erklärung der Interferenzerscheinungen richtig ist? Man müsste sich eben um eine andere umsehen.

Ich will die Sache nicht weiter verfolgen. Ich wollte nur ein Streiflicht werfen auf die beiden Extreme der Farbenlehre.

Das eine Extrem ist die reine subjective Auffassung der Farben, man nimmt nur auf die Empfindungen und deren Mischung Rücksicht und kümmert sich nicht darum, was Licht und Farbe sei, wie sie entstehen und fortgepflanzt werden. Das andere Extrem ist die Definition von Licht und Farbe durch die entsprechende Aetherbewegung. Zusammengesetzt wird die Farbe noch, ehe sie das Auge trifft; in der Netzhaut und im Gehirn wird subjectiv nichts gemischt. Das weisse Licht (ob es sich nun aus Roth und Grün oder aus Gelb und Blau oder aus 3 oder mehr Farben zusammensetzt) trifft als eine bestimmte Aetherbewegung die Netzhaut, sowie das Purpur, das Roth oder Grün oder irgend eine andere Farbe. Die ganze Aufgabe der Netzhaut und des Gehirns bestände bei der höchsten Vollkommenheit dieser Organe nur darin, auf jede differente Aetherbewegung mit einer differenten Empfindung zu reagiren. Diese extreme Theorie wäre in der Lage, eine merkwürdige Thatsache zu ihrer Stütze herbeizuziehen. Da die Mischung der Farbenempfindungen in letzter Linie im Gehirne stattfindet, muss es gleichgiltig sein, ob ich einem Auge gleichzeitig z. B. Gelb und Blau oder Roth und Blau oder ob ich bei binocularem Sehacte dem einen Auge Gelb (oder Roth), dem andern Blau darbiete. Ich müsste beide Male Weiss (Gelb und Blau), resp. Purpur (Roth und Blau) sehen. Mische ich für ein Auge reines Gelb und reines Blau, so sehe ich Weiss; und Purpur bei Mischung von Roth und Blau. Unter diesen Umständen können sich die Aetherwellen ausserhalb des Auges zusammensetzen und in das Auge dringen Aetherbewegungen ganz bestimmter Qualität, auf welche die Netzhaut, in Wirklichkeit das Gehirn mit der Empfindung von Weiss, beziehungsweise von Purpur reagirt.

Wird aber dem einen Auge Gelb und dem andern Blau oder dem einen Auge Roth und dem andern Blau dargeboten, so dass eine Composition der Aetherwellen nicht zu Stande kommen kann, die Farben nur stereoscopisch zur Deckung gebracht werden und eine Mischung der Erregungen erst im Gehirne stattfinden hann, so wird von einer Reihe von Forschern, an deren Spitze kein Geringerer als Helmholtz steht, behauptet, dass niemals die Mischfarbe, sondern im Wettstreite der Sehfelder blos bald die eine bald die andere Farbe gesehen werde und dass Jene sich im Irrthum befinden und auf eine unrichtige

Beobachtung stützen, die diese Mischfarbe zu sehen vermeinen. Diese Erscheinung könnten also die Objectivisten für ihre Lehre ausbeuten.

Dem gegenüber können jedoch die Subjectivisten sich darauf berufen, dass am Farbenkreisel die Mischfarbe monoculär zu Stande kommt, wenngleich dabei die Aetherwellen sich nicht objectiv zusammensetzen können. Versetze ich eine Kreisscheibe, auf der ich einen Sector von 147° eines bestimmten gelben Papiers gebracht und deren restirenden Sector von 213° ich mit einem bestimmten blauen Papier ausgefüllt habe, in rasche Rotation, so sehe ich Grau und zwar ein Grau, das ich an demselben rasch rotirenden Farbenkreisel erhalte, wenn ich die Scheibe mit 131° eines bestimmten weissen und mit 229° eines bestimmten schwarzen Papiers beklebt habe. Die blauen und die gelben Wellen können sich hierbei nicht so zusammensetzen, wie wenn ich das Blau des Spectrums mit dessen Gelb decke (mische); die Aetherwellen, bald die blauen bald die gelben, treffen gesondert, aber in rascher Aufeinanderfolge die Netzhaut, so rasch nach einander, dass die Erregung, die die blaue Welle hervorgerufen, noch nicht verklungen ist, wenn die gelbe Welle anlangt, so dass beide Erregungen gleichzeitig bestehen und die durch dieselben gesetzten Empfindungen sich mischen oder aufheben müssen, wenn statt Gelb und Blau Grau gesehen wird.

Bei der Darstellung der Farbenlehre wollen wir uns von beiden Extremen in gleichem Masse entfernt halten und wie die Sache es erfordert, sowohl der subjectiven, wie der objectiven Seite der Farben innerhalb gewisser Grenzen ihr Recht widerfahren lassen.

---

§ 2. Die Farbenempfindungen.

Wir können uns Aetherwellen vorstellen von unendlicher Verschiedenheit der Wellenlängen und unendlich ist auch die Zahl der Combinationen, in der sich diese Aetherwellen zusammensetzen können. Für uns haben jedoch an dieser Stelle nur jene Aetherwellen ein Interesse, welche Licht- und Farbenempfindung, oder da Lichtempfindung ohne Farbenempfindung nicht denkbar ist, jene Aetherwellen, welche Farbenempfindung hervorzurufen im Stande sind.

Und wie wir in der Lehre von den Augenbewegungen nicht erörtern, welche Bewegungen des Bulbus möglich wären auf Grund des anatomischen Ansatzes der Augenmuskeln, sondern vielmehr von den thatsächlich ausführbaren Augenbewegungen ausgehen und untersuchen, durch welche Muskelcontractionen diese Bewegungen veranlasst werden: ebenso prüfen wir zunächst, welcher Farbenempfindungen das Auge fähig ist und dann können wir in zweiter Linie die Frage vorlegen, durch welchen materiellen Vorgang diese thatsächlichen Empfindungen erzeugt werden dürften.

Ausser den Grundempfindungen von Weiss und Schwarz gibt es noch vier Grundempfindungen, jene des Roth, Grün, Gelb und Blau, und demgemäss ausser Weiss und Schwarz die vier Grund- oder Urfarben: Roth, Grün, Gelb, Blau (Hering). Wenn wir eine Farbe als Grundfarbe bezeichnen, so muss das Postulat erfüllt werden, dass kein menschliches Auge in derselben zwei verschiedene Farben sieht, empfindet; und dieses Postulat wird nur von den genannten Farben erfüllt. Dagegen verdient eine Farbe den Namen der Grundfarbe nicht, wenn dieselbe zwar in einem individuellen Auge eine einheitliche Empfindung hervorruft, wenn aber ein anderes Auge zwei Grundfarben in ihr zu empfinden vermag. Wenn demnach Leber erklärt, „dass er sich gegen das Nebeneinanderbestehen verschiedener Empfindungen in einem Farbenton erklären müsse, dass für sein Gefühl die Farben eine continuirliche, in sich zurücklaufende Reihe bilden, dass beispielshalber Orange für sein Auge eine ebenso einheitliche und einfache Empfindung sei, als Roth oder Gelb", so muss dagegen bemerkt werden, dass für die überwiegende Mehrzahl der Augen diese Empfindungsweise nicht zutrifft, dass ich selbst und mit mir wohl die Meisten im Orange eine so ausgesprochene gleichzeitige Empfindung von Gelb und Roth haben, dass der Ausdruck Orange einfach durch Rothgelb ersetzt werden kann. Wenn andererseits Leber z. B. unter den partiellen Farbenblindheiten eine „Roth-Blaugrün"-Blindheit anführt, so ist nicht abzusehen, wie Leber dieses Blaugrün empfindet, und wie er es als Blaugrün benennen kann, wenn er, da das Nebeneinanderbestehen verschiedener Empfindungen in einem Farbenton von ihm geleugnet wird, das Blau und das Grün in diesem Blaugrün nicht sieht.

Die Grundempfindungen Roth, Grün, Gelb und Blau können sich in verschiedener Weise mischen, und zwar kann sich das Roth mit Gelb, sowie mit Blau, es kann sich ebenso Grün mit Gelb, sowie mit Blau, es kann sich aber nicht die Empfindung von Roth mit jener des Grün mischen. Andererseits mischt sich (es ist dies blos eine Umschreibung des eben Gesagten) sowohl Gelb als Blau mit Roth, sowie mit Grün, aber die Empfindung des Gelb kann sich nicht mit jener des Blau mischen. Es kann eben so wenig Roth und Grün gleichzeitig empfunden werden, wie Gelb und Blau. Es gibt gewiss, im objectiven Sinne, eine ebenso schöne rothgrüne und blaugelbe Farbe, als es eine rothgelbe und blaugrüne Farbe gibt — und es mag auch Geschöpfe geben, die solche rothgrüne und blaugelbe Farben unter allen Umständen zu empfinden vermögen — aber im menschlichen Hirn heben sich die gleichzeitigen Empfindungen von Roth und Grün, sowie jene des Blau und Gelb bei gleicher Intensität vollständig auf. Es ist für die Bedeutung dieser Frage ganz gleichgiltig, ob man glaubt, dass Roth und Grün gemischt eine Gelbempfindung (v. Helmholtz) oder ob man der Ansicht ist, dass diese Farbenmischung eine Weissempfindung (Hering) hervorruft und es thut nichts zur Sache, dass die Mischung Blau-Gelb Weiss gibt: sicher ist, dass wir in einer Farbe nicht simultan Roth und Grün sehen können, wie wir Roth und Blau in einem Farbenton empfinden und dass wir ebensowenig, analog einer grüngelben Empfindung, eine blaugelbe zu haben vermögen. Auch die sog. Rothgrünblinden, welche nicht selten eine Farbe als bläulich-gelblich bezeichnen, dürften nicht eine simultane, sondern eine rasch wechselnde Empfindung von Blau und Gelb haben.

Wenn wir von den Grundempfindungen Weiss und Schwarz zunächst absehen, so haben wir es demnach entweder mit der Empfindung einer Grundfarbe oder einer Mischfarbe zu thun, und da wir aus der Reihe der Mischfarben die Mischung der Gegenfarben Roth-Grün, sowie Blau-Gelb streichen müssen, so bleiben folgende Farben übrig:

Roth, Rothgelb, Rothblau,
Grün, Grüngelb, Grünblau,
Gelb, Gelbroth, Gelbgrün,
Blau, Blauroth, Blaugrün.

Der Unterschied zwischen Rothgelb und Gelbroth liegt darin, dass man unter Rothgelb eine Mischung von Roth und Gelb mit überwiegendem Roth, unter Gelbroth jedoch die Mischung derselben Grundfarben mit überwiegendem Gelb zu verstehen hat, und die Differenz, die für diese beiden Farbentöne Geltung hat, greift ebenso Platz für Rothblau und Blauroth, Grüngelb und Gelbgrün, Grünblau und Blaugrün.

Ich glaube nicht, dass man für die Qualität der Farben ganz allgemein den Ausdruck: „Farbenton" gebrauchen solle Ein „rother Farbenton" z. B. würde dann ebenso die Grundfarbe Roth, wie die Mischfarben bezeichnen. Es ist vielmehr die Farbe zunächst zu charakterisiren als „Grundfarbe" oder als „Ton einer Grundfarbe". Ich sehe daher entweder „Roth" oder einen „rothen Farbenton", womit ich sage, dass ich die Grundfarbe Roth oder eine Mischfarbe des Roth sehe.

Weiss und Schwarz sind sicherlich ebenso Grundfarben, wie Roth und Grün, oder wie Gelb und Blau, aber sie sind, wiewohl sie unserer Empfindung als Gegenfarben imponiren, doch keine Gegenfarben (Hering) in jenem Sinne, in welchem es die beiden anderen Farbenpaare sind, denn sie lassen sich mischen. Wenn wir ihnen wirklich die Bezeichnung der „Gegenfarben" lassen, dann müsste man sie — freilich mit einer Contradictio in adjecto — „mischbare Gegenfarben" nennen. Sie geben gemischt Grau. Wenn eine Mischung gleicher Mengen von Weiss und Schwarz als mittleres Grau bezeichnet wird, so wird durch Zumischung von Schwarz zu diesem mittleren Grau ein immer dunkleres Schwarzgrau und durch Zumischung von Weiss ein immer helleres Weissgrau zu Stande kommen, bis endlich Schwarz und Weiss an den Enden der Reihe stehen.

Jede Abstufung, jedes Glied dieser schwarzweissen Reihe kann nun wieder mit den Grundfarben, sowie mit den Farbentönen des Roth, Grün, Gelb und Blau gemischt werden. Eine Farbe oder ein Farbenton, welchem kein Glied der schwarzweissen Reihe beigemischt ist, befindet sich im Zustande der vollkommensten „Sättigung" oder „Reinheit". Indem aber jede Farbe und jeder Farbenton der rothgrünen und der blaugelben Reihe mit jeder Abstufung der schwarzweissen Reihe gemischt werden kann, entsteht für jede Grundfarbe, sowie für alle Töne jeder Grundfarbe eine ununterbrochene Reihe von Schattirungen oder Nuancen

(Hering). Die dunkelste Nuance jeder Farbe oder jedes Farbentons der genannten Reihen geht in Schwarz, die lichteste in Weiss über.

An jeder Farbe, die nicht der schwarzweissen Reihe angehört, die also nicht Schwarz, Weiss oder Grau ist, ist demnach zu unterscheiden die Qualität und die Sättigung. Die Qualität ist gegeben durch die Grundfarbe oder den Farbenton, den Grad der Sättigung bestimmt die Nuance, d. h. er ist abhängig von der grösseren und geringeren Beimischung von Abstufungen der schwarzweissen Reihe. Ein und derselbe Farbenton mit ein und derselben Nuance kann aber noch dadurch eine verschiedene Empfindung hervorbringen, dass die betreffende Farbe bald heller, bald weniger hell erscheint. Es ist also jede Farbe ausser durch den Ton und die Nuance (den Sättigungsgrad) noch bestimmt durch ihre Helligkeit (die ihr anhaftende Lichtintisität) (v. Helmholtz).

Wie soll man aber die Abstufungen der schwarzweissen Reihe selbst nennen? Da wir die Mischung zweier Grundfarben als „Farbentöne" bezeichnen, so kann man die Abstufungen der schwarzweissen Reihe „graue Farbentöne" heissen. Da aber andererseits durch Beimischung von Schwarz und Weiss zu den Gliedern der rothgrünen und gelbblauen Reihen die „Nuancen" der Grundfarben und Farbentöne zu Stande kommen, so kann man auch von „Nuancen des Grau" sprechen.

Alle Farben, die vermöge der Construction unserer Augen und unseres Hirns für uns existiren können, sind demnach folgende:

1) Die Grundfarben Weiss und Schwarz mit allen Tönen oder Nuancen des Grau.

2) Die Grundfarben Roth und Grün mit allen Tönen des Roth (Rothgelb und Rothblau) und allen Tönen des Grün (Grüngelb und Grünblau), sowie alle Nuancen der Grundfarben Roth und Grün und ihrer Farbentöne.

3) Die Grundfarben Gelb und Blau, mit allen Tönen des Gelb (Gelbroth und Gelbgrün) und allen Tönen des Blau (Blauroth und Blaugrün), sowie alle Nuancen der Grundfarben Gelb und Blau und alle Nuancen ihrer Farbentöne.

Diese Darstellung der Farbenlehre nach Hering's Grundsätzen erfordert noch einen kleinen Nachtrag. Eine Theorie der Farbenempfindung werde nicht entwickelt, aber es muss die

Frage beantwortet werden, wieso es kommt, dass wenn Grün und Roth, sowie Gelb und Blau Gegenfarben sind, die sich vernichten, durch gleichzeitige Einwirkung von Grün und Roth, sowie von Gelb und Blau nicht Empfindungslosigkeit, sondern eine weissliche Lichtempfindung entsteht. Es rührt dies nach Hering daher, weil alles κατ' ἐξοχήν farbige Licht immer auch gleichzeitig die Weissempfindung hervorruft. Daraus folgt erstens, dass es keine gesättigte Farbe gibt, und zweitens, dass wenn Roth und Grün, oder Gelb und Blau gleichzeitig das Nervensystem erregen, die Roth- und Grünempfindung, ebenso wie die Gelb- und Blauempfindung sich gegenseitig vernichten, dass aber, da sowohl Roth als Grün auf der einen, Gelb und Blau auf der anderen Seite die Empfindung des Weiss nebenher hervorrufen, sie sich in diesen Componenten nicht aufheben, sondern unterstützen. Statt der Empfindung einer nicht gesättigten rothgrünen und blaugelben Farbe haben wir daher nur eine weissliche Lichtempfindung.

Vor Hering wurden die Gegenfarben als Complementärfarben bezeichnet. Es wurde also angenommen, dass Gelb und Blau sich nicht vernichten, sondern dass sie sich mischen, zu Weiss sich zusammensetzen. Die Grundfarben Roth und Grün, Hering's Gegenfarben, waren aber nicht Complementärfarben, sie mischten sich vielmehr zu Gelb (v. Helmholtz), während Blaugrün die Complementärfarbe von Roth und Blauroth (Purpur) die Complementärfarbe von Grün darstellte. Nach seinen neuesten Untersuchungen (1892) über die Grund- oder Urfarben (wovon zum Schlusse) dürfte jedoch v. Helmholtz schwerlich Blaugrün als Complementärfarbe des Roth aufrechterhalten. Es scheint mir vielmehr, dass sich aus diesen Funden ergibt, dass nicht Blaugrün, sondern Grün die Complementärfarbe des reinen Roth, des Urroth, ist.

Für die Fähigkeit des Auges, Farben in qualitativer und quantitativer Hinsicht normal zu empfinden, habe ich den Ausdruck: Farbentüchtigkeit eingeführt.

Ein farbentüchtiges Auge wird begreiflicherweise nicht schwanken, wenn man ihm eine der vier Grundfarben vorhält. Aber um all' die verschiedensten Farbentöne und Farbennuancen zu unterscheiden und sie halbwegs richtig zu benennen, dazu bedarf es grosser Uebung und des Unterrichts. Um den Farben-

sinn schon bei den Kindern methodisch zu üben, hat Magnus (1879) eine Farbentafel zur methodischen Erziehung des Farbensinns, der noch 72 Farbenkärtchen beigelegt sind (in Kern's Verlag, Breslau, 6 Mark) erscheinen lassen. Die Kinder werden da über verschiedene Nuancen von Rosa (Purpur), Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Braun und Grau belehrt.

Im gewerblichen Verkehr haben viele Farbentöne und Farbennuancen bestimmte Namen; ja ein Fabrikant unterscheidet z. B. eine Anzahl von blauen Farbentönen, sowie blauen Farbennuancen, in denen der Laie kaum einen Unterschied sieht, nicht blos als gewaltig von einander abstehend, sondern weiss auch jede derselben mit einem besonderen Namen zu benennen. Die Kenntniss gewisser Farbennuancen und Farbentöne ist wichtig. So ist es wichtig zu wissen, dass Fleischfarbe eine sehr weissliche Nuance der Grundfarbe Roth, dass dagegen Rosa eine weissliche Nuance eines rothblauen Farbentones ist. Mischt man nämlich zu Roth Blau, so erhält man zunächst Carminroth, mischt man mehr Blau dazu, so entsteht Purpur und eine stark weissliche Nuance dieses Purpur ist Rosa. Mischt sich dagegen dem Blau Roth zu (oder was dasselbe ist, mischt sich zum Purpur noch mehr Blau), so entsteht die Empfindung des Violett. Die rothblauen Farbentöne sind Carmin und Purpur; die blaurothen hingegen Violett, dessen weissliche Nuancen man gewöhnlich Lila nennt, wiewohl ich als Lila auch sehr dunkle Nuancen des Violett bezeichnet finde. Die dunklen Nuancen von Roth, Gelb und Grün heissen Braun; dabei nennt man das dunkle Roth Rothbraun, das dunkle Gelb schlechtweg Braun und das dunkle Grün gewöhnlich Olivengrün.

---

§ 3. Radde's Farbentafel. Spectralapparat.

Wenn man Störungen des Farbensinns prüfen will, muss man zunächst wissen, was ein farbentüchtiges Auge bei den verschiedenen Prüfungsmethoden leistet.

Radde's Farbentafel.

Um sich über Farbentöne und Farbennuancen vollständig zu verständigen, bleibt kein anderer Ausweg als eine grosse

Reihe von Farbentönen und Farbennuancen auf Farbentafeln herzustellen und durch Ziffern und Buchstaben Farbenton und Farbennuance, um die es sich handelt, zu bezeichnen. Das wird sicherer sein, als wenn man durch Ausdrücke wie Ultragelb, Hochgelb, Gelb, Citron; oder Wiesengrün, Grün, Smaragdgrün, Spanngrün, Grüner Ultramarin u. s. w. sich zu verständigen sucht. Eine solche Farbentafel, die internationale Farbentafel Radde's, ist in der That von der Société sténochromique in Paris (Verlag Otto Radde, Hamburg, 6 Mark) hergestellt worden. Die Taschenausgabe dieser Tafel ist in einem handlichen Futteral von 25 Cm. Länge und 3 ½ Cm. Höhe und Breite eingeschlossen. Sie enthält 42 Streifen. Die ersten 30 Streifen enthalten je eine Grundfarbe oder einen Farbenton und auf jedem Streifen finden sich 21 Nuancen der entsprechenden Farbe, beginnend mit Schwarz und mit Weiss endigend; jede Farbennuance ist dargestellt durch ein Rechteck von circa 2 Cm. Basis und 1 Cm. Höhe. Reihe 1 ist Roth (Zinnober); dann folgen (2 und 3) durch Beimischung von Gelb 2 Farbentöne als Uebergang zu Orange (4), durch Zunahme des Gelb zwei Uebergänge (5 und 6) vom Orange zum Gelb (7); folgen 5 Gelbgrün (Gelbgrün und Grüngelb, 8—12); dann kommt als Repräsentant des reinen Grün: Grasgrün (13); 5 Blaugrün und Grünblau (14—18) schliessen sich an. Hierauf erscheint Blau (19) und nun reihen sich in sehr schönen Stufen durch eine immer stärkere Beimischung von Roth die blaurothen und rothblauen Farbentöne an: als zwei Uebergänge zu Violett (20, 21), Violett (22), zwei Uebergänge zu Purpur (23, 24), Purpur (25), zwei Uebergänge zu Carmin (26, 27), Carmin (28) und endlich zwei Uebergänge zu Zinnober (29 und 30). Damit ist die Reihe der Farbentöne geschlossen, indem Reihe 30 wieder in Reihe 1 (Zinnober) übergeht.

Columne 31 enthält die schwarzweisse Farbenreihe, überschrieben als Neutralgrau. Man wird fragen, was denn noch die Streifen 32 bis 42 enthalten können. Es sind ja doch die Farbentöne mit ihren Nuancen im Kreise geschlossen. Diese Streifen führen die Namen Zinnobergrau, Braun, Orangegrau, Gelbgrau, Gelbgrüngrau, Grüngrau, Blaugrüngrau, Blaugrau, Violettgrau, Purpurgrau und Carmingrau, und haben jede wieder 21 Abstufungen. Es sind dies offenbar nur Nuancen der Nuancen. Denn während jede der ersten 30 Columnen in der Mitte den ge-

sättigtesten Farbenton, Columne 31 daselbst das mittlere Grau zeigt, findet sich auf den letzten 11 Farbenreihen in der Mitte eine bestimmte Farbennuance, d. h. eine Mischung von mittlerem Grau mit einem Farbenton, dem nach oben immer mehr schwarz, nach unten immer mehr weiss zugemischt wird. 882 verschiedene Töne und Nuancen enthält die Tafel. Ein Index gibt uns eine Zusammenstellung der 42 Columnen, es finden sich da die gesättigten Farbentöne der 30 ersten Reihen; das mittlere Grau und die Mischung der Farbentöne mit mittlerem Grau. Der Vorwurf, dass man die Tafel zur Farbenprüfung nicht verwenden könne, weil sich über jeder Columne die Ueberschrift befindet, ist nicht sehr schwerwiegend, da man diese Ueberschriften — mit Papier überkleben kann, und zwar um so gefahrloser, als ein den Index erklärender Streifen eine genaue Reproduction dieser Ueberschriften enthält. Sowie man einerseits jede einzelne Columne vorlegen kann, so wird es auch durch ein beigegebenes Lineal mit rechteckigen Ausschnitten ermöglicht, in jeder Columne einzelne Farbennuancen isolirt zur Ansicht zu bringen. Findet sich einmal diese oder eine noch vollkommenere Farbentafel in den Händen Aller, dann wird es sehr leicht sein, sich über Farbentöne und Farbennuancen zu verständigen. 15, p der Tafel Radde's ist eine bestimmte weissliche Nuance des Grünblau; 28, n eine bestimmte Nuance des Carmin. Die Farbensprache wird dann durch Ziffern und Buchstaben geführt werden.

Der Spectralapparat.

Ein durch einen verticalen Spalt in Form eines horizontalen Bandes entworfenes Sonnenspectrum zeigt eine Reihe von verticalen dunkeln Linien, die Frauenhofer'schen Linien, von denen die auffallendsten durch die grossen lateinischen Buchstaben A, B, C, D, E, F, G, H und durch ein kleines b (zwischen E und F gelegen) bezeichnet sind. Das Auge, das im Sonnenspectrum die Farben des Regenbogens sieht, kann sich nach diesen Linien orientiren. Nach Helmholtz reicht das Roth von A bis C; zwischen C und D folgt Orange (Rothgelb) und Goldgelb (Gelbroth); zwischen D und E zunächst ein Streifen von reinem Gelb, dann Grüngelb; zwischen E und b reines Grün, das zwischen b und F breites Grünblau geworden ist;

von F bis G dehnt sich das Blau, welches Helmholtz in Cyanblau (Blaugrün) und Indigo (Reinblau) unterscheidet, bis dieses bei G in Violett übergeht, das als solches H erreicht. Jenseits H folgt das Ultraviolett, welches nach Abblendung des leuchtenden Sonnenspectrums als ein Bläulichgrau sichtbar wird; diesseits A gibt es noch etwas Roth, das sichtbar wird, wenn man das einfallende Licht durch eine Fuchsinlösung, die nur rothes Licht durchlässt, hindurchgehen lässt. Helmholtz hat auch den Eindruck der Spectralfarben mit jenem verglichen, den wir empfangen, wenn wir gewisse farbige Pigmente anschauen. Demnach wäre Spectral-Roth = Zinnober; Orange und Goldgelb: Mennige und Bleiglätte; Gelb = Chromgelb; Grün: Scheel'sches Grün; die beiden Blau: Cyanblau und Indigo hätten ihre Repräsentanten im Berlinerblau und Ultramarin, während die Farbe der Veilchen uns das Violett des Spectrums veranschaulicht. Statt des Sonnenlichtes kann man zur Erzeugung des Spectrums eine Flamme, Gas- oder Petroleumflamme verwenden. Diese Spectra zeigen die Frauenhofer'schen Linien nicht.

Die folgenden Farben des Spectrums sind nach Helmholtz Complementärfarben:

Erstes Paar:	Roth und Blaugrün	1,
Zweites „	Orange und Cyanblau . . .	2,
Drittes „	Gelb und Indigo	3,
Viertes „	Grüngelb und Violett . . .	4,
Fünftes „	Grün und Purpur	5.

Die Complementärfarbe des Grün, das Purpur, findet sich nicht im Spectrum; Purpur ist ein rötherer Ton des Blau, als das Violett.

Nach Hering fassen wir die Complementärfarben als Gegenfarben auf. Nun hat nach Hering jede einfache Farbe nur eine, jede Mischfarbe aber zwei Gegenfarben. Die Helmholtz'sche Complementär-(Gegen-)Reihe ist daher verständlich für die Reihen 2, 3 und 4, denn Gelb und Indigo (3) sind einfache Farben, und dass Violett die Gegenfarbe von Grüngelb (4) ist, wird daraus erklärlich, weil Violett Roth (als Gegenfarbe des Grün) und Blau (als Gegenfarbe des Gelb) enthält, sowie es einleuchtend ist, dass Orange und Cyanblau (2) Complementärfarben (Gegenfarben) sind, denn Orange enthält Roth und Gelb, Cyanblau dagegen Grün (gegen Roth) und Blau (gegen Gelb).

Wenn aber die Reihen 1 und 5 Gegenreihen sind, dann muss im Roth (dessen Gegenfarbe Blaugrün) noch Gelb und ebenso im Grün (Gegenfarbe Purpur = Rothblau) noch Gelb enthalten sein. Dass alles spectrale Roth noch Gelb enthält, hat Hering schon lange behauptet. Neuestens (1892) ist dies auch von Helmholtz anerkannt worden. Das neue Urroth von Helmholtz ist im Spectrum nicht enthalten; das Spectralroth ist eine „weissliche und ein wenig gelbliche Modification" der Grundfarbe Roth. Ebenso dürfte jenes Grün, dessen Complementärfarbe das Purpur ist, von Gelb nicht frei sein.

Blickt man durch ein Prisma nach einer weissen Lichtlinie, so wird auf der Netzhaut das farbige Spectrum entworfen. Ein solches Spectrum heisst ein subjectives. Erzeugt man aber das Spectrum auf einem andern Schirme als auf der Netzhaut, indem man das in seine farbigen Bestandtheile auseinandergefahrene Licht nicht durch Hornhaut und Linse des menschlichen Auges auf der Netzhaut, sondern durch eine Glaslinse auf einem ebenen Schirme zu einem umgekehrten Bilde vereinigt, dann erhält man ein objectives Spectrum, das zum genaueren Studium der Spectralerscheinungen verwendet wird.

Im Spectralapparate enthält das eine Rohr an dem freien Ende eine Metallplatte mit einem verticalen Spalt, der das Licht einlässt, am anderen Ende eine Convexlinse (die Collimatorlinse), in deren Brennweite der Spalt sich findet, so dass die von jedem Punkte des Spaltes ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchtritte durch die Linse parallel sind und nunmehr auf ein Flintglasprisma fallen, das sie zur Basis ablenkt und gleichzeitig in ihre farbigen Bestandtheile zerlegt. Die am schwächsten abgelenkten Strahlen sind die rothen, die stärkstgebrochenen die violetten.

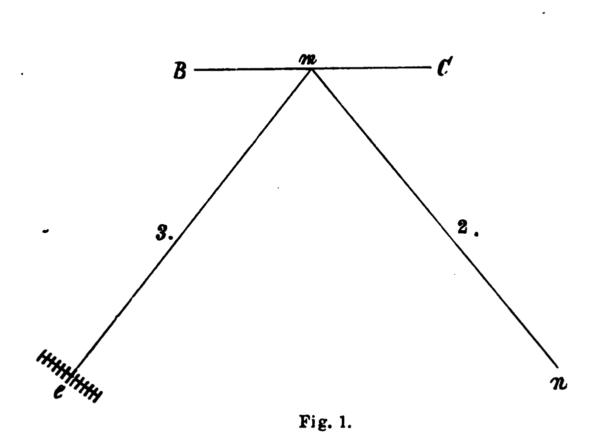


Fig. 1.

Das so erzeugte Spectrum wird durch das zweite Rohr (2) des Apparates (Fig. 1), ein astronomisches Fernrohr, angesehen, d. h. die auf das Fernrohrobjectiv fallenden Strahlen werden durch dasselbe zu einem im Rohre liegenden objectiven umgekehrten Bilde vereinigt, das durch das vergrössernde Fernrohr-Ocular nunmehr betrachtet wird. Um sich über bestimmte Partien des Spectrums zu verständigen, ist es nothwendig, dass eine getheilte Scala über dasselbe läuft. Dazu dient das dritte Rohr des Spectralapparates, dessen vom Prisma abgekehrtes Ende durch eine, jene horizontale Scala e mit sehr feiner Theilung tragende Glasplatte geschlossen ist. Die Axe em des Rohres 3 bildet mit der Prismenfläche BC, durch welche das gebrochene und zerstreute Licht austritt, den gleichen Winkel, wie die Axe mn des Fernrohres (2). Wenn nun die Strahlen, die von der durch eine schwache Flamme beleuchteten Scala kommen, durch eine Convexlinse parallel austretend, in der Richtung em auf die Prismenfläche BC fallen, werden sie in der Richtung mn der Fernrohraxe reflectirt. Man sieht demnach durch das Fernrohr das durch das Prisma erzeugte Spectrum, z. B. dessen rothen Theil und zugleich das von der Prismenfläche BC zurückgeworfene Spiegelbild der Scala e. Das Spectrum wird nicht auf einmal übersehen, sondern man muss das Fernrohr um eine verticale Axe drehen, um vom rothen zum violetten Ende desselben zu gelangen. Man hat in den Apparaten auch Spaltvorrichtungen angebracht, um immer nur einen kleinen Theil des Spectrums zur Anschauung zu bringen. Man hat ferner auch zwei Spectra übereinander erzeugt, in deren einem das rothe, in deren anderem das violette Ende z. B. rechts steht, und eines dieser Spectra beweglich gemacht, so dass man jeden Theil des einen Spectrums über (oder unter) jeden Theil des zweiten stellen kann (Hirschberg).

Um das Sonnenspectrum herzustellen, muss man directes Sonnenlicht mittelst eines Spiegels auf den Spalt werfen. Die Sonne wandert rasch und dementsprechend muss der Spiegel beständig richtig gestellt werden. Das kann man allerdings ersparen, indem man sich einen Heliostaten anschafft, der durch ein Uhrwerk die dem Gange der Sonne entsprechende Drehung eines Spiegels vornimmt. Aber leider ist mit der Anschaffung und richtigen Aufstellung des Heliostaten nicht immer Alles ge-

than. Die Sonne verschwindet mitunter doch vom Spalt. Es liegt das aber, wie ich vermuthe, nicht an der Sonne, sondern an — dem Uhrwerk des Instruments. Man erhält das Sonnenspectrum übrigens auch, wenn man Himmelslicht von einem Spiegel reflectiren lässt, oder wenn man den Apparat gegen eine von der Sonne beschienene weisse Wand richtet. Für die Farbenprüfung kann man das Licht einer Petroleum- oder Gasflamme verwenden.

Wichtig für die Farbenprüfung sind die Spectren farbiger Flammen. Es ist bekannt, dass wenn man in einer Spiritus- oder einer nicht leuchtenden Gasflamme Metallverbindungen verbrennt, die Spectra der Flammen, discontinuirlich, aus einem oder mehreren, durch dunkle Zwischenräume getrennten farbigen Streifen bestehen, sowie dass alle Verbindungen derselben Metalle (richtiger derjenigen, von welchen gleich die Rede sein wird) stets dasselbe Spectrum geben. Rubidium (rubidus, dunkelroth, durch Spectralanalyse entdeckt von Bunsen) ist ausgezeichnet durch zwei dunkelrothe Linien im äussersten Roth, noch diesseits von A (und zwei lichtstarke Linien im Violett zwischen G und H, nahe an G). Kalium (jedes Kalisalz) zeigt einen isolirten bandartigen Streifen im äussersten Roth bei A (nebst einem ziemlich continuirlichen, lichtschwachen mittleren Theil des Spectrums, das auch dem Rubidium und Caesium zukommt, und einer isolirten Linie im Violett); Lithium (z. B. Chlorlithium) einen herrlich leuchtenden Streifen im Roth zwischen B und C (und einen kaum sichtbaren im Orange); Natrium (Chlornatrium, Kochsalz) einen leuchtenden gelben Streifen bei D; Thallium (*θαλλός*, Zweig, entdeckt durch Crookes 1861) einen prächtigen grünen Streifen zwischen D und E, nahe bei E; Caesium (caesius, blau, Bunsen) zwei glänzende scharf begrenzte ganz nahe an einander stehende blaue Linien in der Mitte zwischen F und G; Indium (*Ἰνδία*, tiefblaue Farbe, Indigo, entdeckt durch Reich und Richter 1864) einen tiefblauen Streifen, zwischen den Caesiumlinien und G. Zwischen F und den Caesiumlinien liegt auch noch ein blauer Streifen; er ist ein Theil des Strontium-spectrums, das ausserdem noch mehrere Linien im Roth und Orange zeigt. Repräsentanten von violetten Linien sind die schon erwähnten zwei Streifen des Rubidium. Der Zweck dieser Untersuchung ist: die vier Farben: Roth,

Grün, Gelb und Blau in der Lithium-, Thallium-, Natrium- und Indium-(oder Caesium-)Linie zu prüfen und gleichzeitig zu untersuchen, ob die Netzhaut des betreffenden Auges noch von allen Lichtsorten überhaupt erregt wird. Denn wenn Jemand die rothen Rubidium- oder nebst diesen auch noch die rothe Kaliumlinie, etwa auch noch die rothe Lithiumlinie überhaupt nicht sähe, oder wenn einem Auge die violetten Streifen des Rubidium, oder nebst diesen auch noch der blaue Streifen des Indium, dazu auch noch vielleicht die blauen Caesium- und Strontiumlinien unsichtbar blieben, so müsste man daraus schliessen, dass gewisse Lichtsorten in jenen Augen nicht blos keinen farbigen, sondern überhaupt keinen Lichteindruck hervorrufen. Die Sichtbarmachung der verschiedenen Linien ist übrigens verschieden schwer und verschieden kostspielig. Die gelbe Natriumlinie ist eigentlich immer da, weil Kochsalz in der Natur ungemein verbreitet ist, also auch im Zimmerstaub sich findet; auch ist es nicht besonders kostspielig, in dem Oehr des Platindrahtes, in das man die zu verbrennenden Substanzen bringt, etwas Kochsalz aufzufassen. Die Lithium- und Thalliumlinie kommt schon theurer zu stehen, doch sind diese Linien mit den käuflichen Präparaten sehr schön herzustellen. Am theuersten ist das Indium und die Linie verschwindet rasch bei den meisten Indiumpräparaten. Sie ist aber so prägnant, dass auch die kurze Dauer ihrer Erscheinung zu ihrem Erkennen genügt.

Wem ein Spectralapparat nicht zur Verfügung steht, dem leistet der Index der Tafel Radde's die ausgezeichnetsten Dienste. Der Index enthält von 1 bis 22 die Spectralfarben von Roth bis Violett, dazu aber noch, was für Farbenprüfungen sehr erwünscht ist, von 23 bis 30 die Purpurtöne bis zum Uebergang in Roth.

Will man sich objectiv überzeugen, wie Jemand die Farben des Spectrums oder des Radde'schen Index sieht, so kann man dieselben durch farbige Papiere, farbige Wollen, farbige Pulver feststellen lassen.

§ 4. Die Polarisationsapparate.

Sir David Brewster sagte dem Sinne nach zu John Tyndall, die Geschichte mit dem Aether, welcher der Undulationstheorie zuliebe den ganzen Weltenraum erfüllen solle, komme ihm deshalb nicht geheuer vor, weil er sich nicht vorstellen könne, dass der Schöpfer keinen anderen Ausweg, Licht zu erzeugen fand, als den, das Weltall mit Aether zu füllen. Es sei dies ein sehr rohes Auskunftsmittel.

Nun darf sich allerdings der Naturforscher niemals auf den teleologischen Standpunkt stellen, aber ebensowenig darf man von einem Naturforscher verlangen, dass er die Undulationstheorie des Lichts für mehr halte als eben für eine Theorie, welche besser, wie jede vorangegangene, die Erscheinungen des Lichtes zu erklären im Stande ist und die so lange in Geltung bleiben mag, bis es gelingt, eine bessere Hypothese aufzustellen oder gar das Wesen des Lichtes thatsächlich zu ergründen.

Dies zur Wahrung meines Standpunktes, wenn ich im Folgenden in der Form apodiktischer Wahrheiten spreche.

Ein gewöhnlicher Lichtstrahl wird durch Schwingungen der Aethertheilchen erzeugt und fortgepflanzt, welche senkrecht zu seiner Fortpflanzungsrichtung erfolgen. Wenn also ein Lichtstrahl vom Anfang dieser Zeile bis zu deren Ende sich fortpflanzt, so schwingen die Aethertheilchen in der Richtung der Längsdimensionen der Buchstaben, d. i. also in einer auf die Zeile senkrechten Richtung. Bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl finden diese Schwingungen jedoch nicht blos in der Ebene des Papiers statt, sondern auch senkrecht zur Ebene des Papiers, sowie in allen anderen Ebenen, welche zwischen der Ebene des Papiers und der darauf senkrechten, die Zeile schneidenden Ebene gelegen sind. Es gibt jedoch Lichtstrahlen, welche sich anders verhalten, wie so ein ganz gewöhnlicher Strahl, ohne dass man es denselben sozusagen direct ansehen könnte, dass die Schwingungen des sie erzeugenden und fortpflanzenden Aethers bei ihnen ein anderes Verhalten zeigen.

Es kann nämlich geschehen, dass die Schwingungen der Aethertheilchen nicht in vielen, unzähligen Azimuten (Ebenen) vor sich gehen, sondern dass die Aethertheilchen nur in einer

einzigen Ebene oscilliren. Solche Strahlen nennt man polarisirt und das aus solchen Strahlen zusammengesetzte Licht polarisirtes Licht.

Es kann also wirklich geschehen, dass wenn ein Lichtstrahl sich vom Anfang bis zum Ende dieser Zeile fortpflanzt, die Schwingungen jedes Aethertheilchens nur in einer einzigen Richtung, etwa in der Längsrichtung der Buchstaben, also ausschliesslich in der Ebene des Papiers erfolgen, so dass jedes Aethertheilchen in einer geraden, auf die Strahlrichtung senkrechten Linie hin und her schwingt. Solch' einen polarisirten Strahl nennt man einen geradelinig polarisirten, und Licht, das durchweg aus solchen Strahlen besteht, geradelinig polarisirtes Licht.

Schwingt im polarisirten Lichte jedes Aethertheilchen nicht in einer geraden Linie durch die Richtung des Lichtstrahls, sondern in einem Kreise um die Strahlrichtung herum, dann ist das Licht circular-polarisirt, und von elliptisch-polarisirtem Lichte spricht man, wenn die Aethertheilchen in elliptischen Bahnen um den durch ihre Schwingung erzeugten und fortgepflanzten Lichtstrahl sich bewegen.

Fällt ein gewöhnlicher Lichtstrahl auf einen Krystall von kohlensaurem Kalk (Kalkspath, Doppelspath, isländischem Doppelspath) und zwar nicht in der Richtung der Krystallaxe, sondern senkrecht auf dieselbe, so wird der einfache gewöhnliche Lichtstrahl in zwei Strahlen zerlegt, welche beide linear polarisirt sind. Denken wir uns in der Richtung dieser Zeile liege die Axe des doppelbrechenden Krystalls. Der einfallende Lichtstrahl falle in der Ebene des Papiers senkrecht auf die durch die Zeile dargestellte Axe in den Krystall. Die Ebene, in welcher der einfallende Strahl und die Krystallaxe liegen (in unserm Falle die Ebene des Papiers), ist ein Hauptschnitt. Die beiden Strahlen, in welche der gewöhnliche Lichtstrahl zerlegt wird, sind geradelinig polarisirt, aber wie liegen ihre Schwingungsebenen?

Die Schwingungsebene des einen Strahles liegt in der Ebene des Hauptschnittes, in unserem Falle also in der Ebene des Papiers, die Schwingungsebene des zweiten Strahles jedoch steht senkrecht auf der Ebene des Hauptschnitts, in unserem Falle senkrecht zur Ebene des Papiers. Die Schwingungs-

ebenen der beiden linear-polarisirten Strahlen stehen also senkrecht zu einander. In diesem Falle sagt man: Die beiden Strahlen sind rechtwinklig zu einander polarisirt.

Derjenige Strahl, dessen Schwingungsebene im Hauptschnitt gelegen ist, ist der ausserordentliche oder extraordinäre Strahl, so genannt, weil er nicht den gewöhnlichen Brechungsgesetzen folgt, während der zweite der Strahlen, dessen Schwingungsebene senkrecht zum Hauptschnitte liegt, der ordentliche, ordinäre Strahl genannt wird, weil er sich ganz ordentlich den Brechungsgesetzen fügt. Damit ein Lichtstrahl beim Durchgange durch den Krystall in zwei Strahlen getheilt werde, muss der eine dieser Strahlen stärker gebrochen werden, als der andere. Im Kalkspath wird der ordinäre Strahl stärker gebrochen, als der extraordinäre.

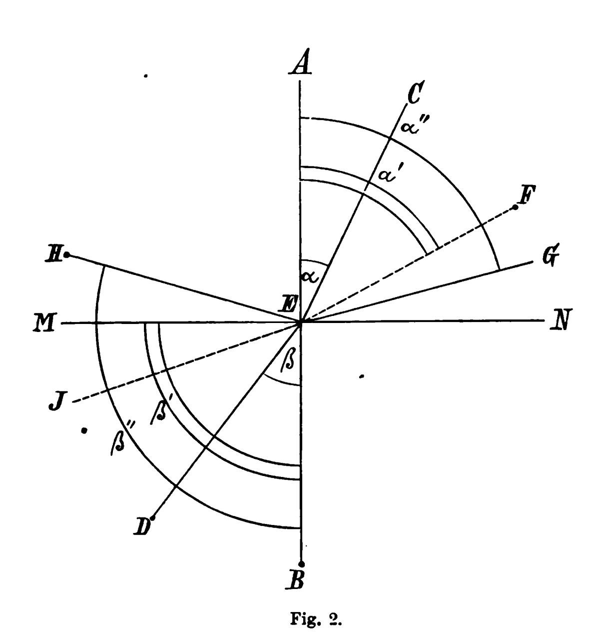


Fig. 2.

Im Kalkspath besitzen wir also ein Mittel, uns polarisirtes Licht zu verschaffen und wir werden hören, wie wir diese zwei senkrecht zu einander polarisirten Strahlen zu unseren Zwecken verwenden. Aber für andere Zwecke, die gleichfalls die unsrigen sind, leistet der Kalkspath zu viel des Guten. Er gibt uns statt eines polarisirten Lichtes zwei (senkrecht zu einander polarisirte) Lichter. Für viele Untersuchungen können wir aber nur eines dieser Lichter brauchen und da wäre es von grossem Vortheil, eines derselben fortzuschaffen.

Wird (Fig. 2) durch MN die Trennungsfläche zweier Medien angedeutet, von denen z. B. das obere Kalkspath, das untere

Canadabalsam sei und beachten wir den Lichtstrahl CE — und zwar sei dies der den allgemeinen Brechungsgesetzen folgende ordinäre Strahl, dessen Brechungsindex = 1.654 — der unter dem Einfallswinkel AEC = α auf die Grenzfläche bei E fällt, so wird, weil das erste Medium (Kalkspath), aus dem das Licht kommt, für den ordinären Strahl dichter ist (einen grösseren Brechungsindex hat) als das zweite Medium (Canadabalsam mit dem Brechungsindex 1.54), in welches das Licht eintritt, ich sage: es wird der Strahl CE vom Einfallslothe gebrochen, so dass der Brechungswinkel β (DEB) grösser ist als der Einfallswinkel. Es ist nun klar, dass wenn der Einfallswinkel wächst und damit auch der Brechungswinkel zunimmt, dieser letztere bei einer bestimmten Grösse von α gerade 90° betragen wird. Es träte dies in unserem Falle dann ein, wenn α die Grösse von α' angenommen, der einfallende Strahl demnach in der Richtung FE verläuft. Für α' also wird der Brechungswinkel β' = BEM = 90°. Der Strahl FE wird in diesem Falle weder in das zweite Medium (Balsam) eintreten, noch in das erste Medium (Kalkspath) zurückgeworfen, sondern er wird in der Grenzfläche MN in der Richtung von E nach M verlaufen. Jener Einfallswinkel, dessen Brechungswinkel 90° beträgt, heisst der Grenzwinkel, denn seine Grösse bezeichnet die Grenze, dieseits welcher Brechung, jenseits welcher aber totale Reflexion eintritt.

Wird nämlich der Einfallswinkel noch grösser als α', erreicht er etwa die Grösse α'', so dass das Licht in der Richtung von GE auf MN fällt, dann muss der Brechungswinkel grösser als 90° werden, er wird zum Winkel BEH (β''). Der in der Richtung von GE einfallende Strahl setzt seinen Weg in der Richtung von EH fort, d. h. bei dieser schiefen Incidenz des ordinären Lichtstrahls dringt kein Theil derselben aus dem ersten Medium (dem Kalkspath) in das zweite (den Balsam), es wird vielmehr das ganze Licht in das erste Medium zurückgeworfen. Es tritt totale Reflexion ein, wobei, da das Reflexionsgesetz auch für diesen Fall seine Giltigkeit nicht verliert, der Reflexionswinkel HEA stets gleich ist dem Einfallswinkel GEA.

Licht ist in den Kalkspath eingetreten und wurde in zwei Theile zerlegt. Wir haben bis jetzt vom ordinären Strahle ge-

sprochen. Ist FE die Richtung des ordinären Strahls, so tritt kein Licht mehr in das zweite Medium, denn der Lichtstrahl verläuft längs der Grenzfläche in der Richtung von E nach M. Fällt aber der extraordinäre Strahl unter demselben Winkel FEA auf die Grenzfläche, stellt uns also jetzt FE den extraordinären Strahl dar, so muss sein Brechungswinkel, weil dieser Strahl schwächer gebrochen (also sowohl zum als vom Einfallslothe weniger stark abgelenkt) wird als der ordinäre, in jedem Falle kleiner sein als 90°. Er werde etwa durch den Winkel BEI dargestellt, so dass, während der ordinäre Strahl hei einem Einfallswinkel α' nicht mehr in das zweite Medium übergeht, der extraordinäre, wenn er unter demselben Einfallswinkel auf die Grenzfläche fällt, in der Richtung EI im Canadabalsam weiterschreitet. Ja, es kann auch leicht geschehen, dass der extraordinäre Strahl gar nicht vom Einfallsloth, sondern zum Einfallsloth gebrochen wird. Denn der Brechungsindex des extraordinären Strahls wechselt, je nach dem Winkel, den das auf den Doppelspath fallende Licht mit der Axe des Krystalls macht. Ist dieser Winkel = Null, d. h. geht der Lichtstrahl durch die Axe, dann ist der Brechungsindex für den extraordinären Strahl 1.654, also derselbe wie für den ordinären Strahl, d. h. in der Richtung der Krystallaxe findet überhaupt keine doppelte Brechung statt. Sowie aber der einfallende Strahl einen von Null verschiedenen Winkel mit der Krystallaxe bildet, wird der Brechungsindex für den extraordinären Strahl kleiner als 1.654 (es tritt doppelte Brechung ein) und um so kleiner, je grösser jener Winkel wird, bis der Indexwerth, wenn der Winkel bis zu 90° zugenommen hat, d. h. der Strahl senkrecht zur Krystallaxe einfällt, seinen kleinsten Werth mit 1.483 erreicht. Da nun der Index des Balsams 1.54 beträgt, der Index für den extraordinären Strahl jedoch zwischen 1.654 und 1.483 schwankt, so kann der extraordinäre Strahl je nach der Stellung der Krystallaxe zum einfallenden Licht bald vom, bald zum Einfallsloth oder auch gar nicht gebrochen werden. In jedem Falle aber muss er noch in den Balsam eintreten, wenn der ordinäre Strahl den Grenzwinkel erreicht und daher nicht mehr in den Balsam übertreten kann.

Ein im Canadabalsam stehendes Auge, das durch den Kalkspath blickt, kann jetzt nur Ein leuchtendes Bild sehen. Es

fällt also jetzt nur *Ein* Lichtbündel ins Auge, ein Lichtbündel aber, das aus *linear-polarisirten* Strahlen besteht, deren Schwingungsebene im Hauptschnitt des Krystalls gelegen ist.

Nunmehr hat das Verständniss des *Nicol*'schen *Prismas* keine Schwierigkeit. Zwei Kalkspathrhomboeder (Fig. 3) werden zu Prismen (mnp und opn) zugeschliffen, so zwar, dass die Winkel bei X gleich gross sind und ungefähr 90^0 betragen. Die beiden Prismen werden durch eine Schichte von Canadabalsam, pn, zusammengeklebt. Der gewöhnliche Lichtstrahl AG wird bei G in den stärker gebrochenen ordinären Strahl GE und den schwächer gebrochenen extraordinären GF zerlegt. Der ordinäre Strahl GE fällt so schief auf die Balsamschicht, dass er nach EH total reflectirt wird, während der extraordinäre in den Balsam und aus diesem in der Richtung F'I in das untere Prisma eintritt, um schliesslich bei I in der Richtung IK parallel mit AG in Luft wieder auszutreten. Solche *Nicol*'sche Prismen (die in den letzten Jahrzehnten auch in sehr grossen Dimensionen in England hergestellt worden sind) liefern also polarisirtes Licht, ohne dass ein Doppelbild störend einwirkte.

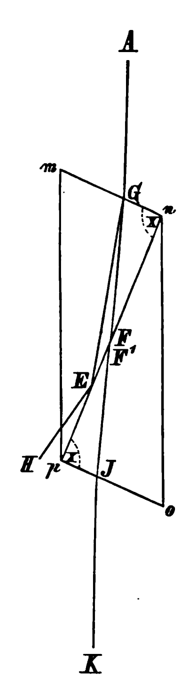


Fig. 3.

Ich blicke durch eine gegen eine Lichtquelle gerichtete Röhre, die an jedem ihrer Enden durch ein *Nicol*'sches Prisma geschlossen ist. Das Licht, das auf den der Lichtquelle zugekehrten Nicol (*Polariseur*) fällt, ist nach seinem Durchgang durch denselben linear polarisirt und steht der Hauptschnitt dieses Nicols etwa vertical, so schwingen die Aethertheilchen des aus dem Polariseur austretenden Lichtstrahls innerhalb der Röhre in einer verticalen Ebene, um so auf den zweiten vor dem Auge stehenden Nicol (den *Analyseur*) zu fallen. Die Schwingungen des extraordinären Strahls, der das erste combinirte Kalkspathprisma passirt hat, können nur ausschliesslich und allein in der Ebene des Hauptschnittes des Analyseurs vor sich gehen. Steht nun der Hauptschnitt des Analyseurs gleichfalls vertical, so besteht nicht das geringste Hinderniss, dass die in der verticalen Ebene stattfindenden Aethervibrationen

sich durch den Analyseur hindurch fortsetzen, so dass alles Licht, das den Polariseur passirt hat, durch den Analyseur in mein Auge gelangt. Ich sehe durch meine Röhre die Lichtquelle vollkommen deutlich.

Wie aber, wenn ich den Analyseur um 90° (wie den Zeiger einer Uhr oder umgekehrt) drehe? Nunmehr liegt der Hauptschnitt des Analyseurs horizontal, während jener des Polariseurs nach wie vor vertical steht. Die beiden Hauptschnitte bilden jetzt einen rechten Winkel mit einander; man sagt: „Die Nicols sind gekreuzt", während man von „parallelen Nicols" spricht, wenn die Hauptschnitte der beiden Nicol'schen Prismen in dieselbe Ebene fallen.

Blicke ich jetzt, bei gekreuzten Nicols, nach der Lichtquelle, so starrt mir, falls die Prismen optisch vollkommen construirt sind, tiefste Finsterniss aus der Röhre entgegen. Jedes der beiden Nicol'schen Prismen ist vollkommen durchsichtig und wenn ich diese beiden durchsichtigen Körper in einer bestimmten Weise auf einander lege, so lassen dieselben absolut kein Licht hindurch.

Ist (Fig. 4) a ein zum Punkt verkürzter, senkrecht zur Ebene des Papiers verlaufender polarisirter Lichtstrahl, dessen Schwingungsebene senkrecht zur Ebene des Papiers ist, so schwingt das Aethertheilchen a senkrecht auf die Strahlrichtung in der geraden Linie bc hin und her. Durch den Lichtimpuls wird nämlich das Aethertheilchen etwa zunächst bis nach b getrieben, um dann durch die Gleichgewichtslage a bis nach c zu schwingen (wobei ab = ac), von c wieder zurück nach b, zwischen b und c hin und her oscillirend. Die Linie bc ist die Schwingungsweite oder die Amplitude der Aetherschwingung. Je intensiver der Lichtimpuls ist, durch den das Aethertheilchen aus der Ruhelage a herausgestossen wird, desto grösser wird die Schwingungsweite sein, und je geringer die Schwingungsweite, desto geringer die Lichtintensität, bis bei einer Amplitude gleich Null, wobei also die Aethertheilchen gar nicht schwingen, Finsterniss eintritt. Nach den Gesetzen der Mechanik

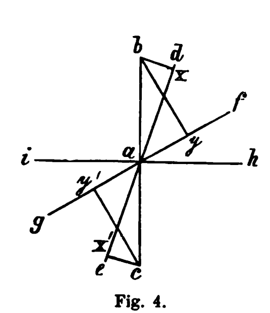


Fig. 4.

können wir nicht blos Bewegungen und Kräfte, sondern auch Schwingungen zerlegen und zusammensetzen.

Ist bc die Schwingungsrichtung und die Amplitude der Aethertheilchen des senkrecht zur Ebene des Papiers verlaufenden und in a zum Punkt verkürzten extraordinären Strahles, der durch den Polariseur mit verticalem Hauptschnitt hindurch gegangen ist, so wird der Strahl mit ungeschwächter Amplitude der Aetherschwingungen durch den Analyseur hindurchgehen, wenn die Schwingungsebene des Analyseurs ebenfalls vertical steht. Wenn ich aber das analysirende Nicol jetzt so drehe, dass seine Schwingungsebene nicht mehr die Lage bc, sondern die Lage de einnimmt, dann geht von der durch die Amplitude bc dargestellten Lichtintensität — thatsächlich ist die Lichtintensität dem Quadrate der Oscillationsamplitude proportional — beim Durchgange durch den Analyseur ein Theil verloren. Ist ab die halbe Amplitude und fälle ich die Senkrechte bx auf ad, so geht die Componente bx verloren, und von der halben Amplitude bleibt nur die Componente ax, daher von der ganzen die Componente xx' übrig, so dass der Strahl nunmehr geschwächt, mit einer Schwingungsweite der Aethertheilchen = xx', aus dem Analyseur austritt, das Gesichtsfeld also (im Vergleiche zu seiner Helligkeit in der Anfangsstellung der Nicols) sich verdunkelt hat. Drehe ich den Analyseur noch weiter, bis sein Hauptschnitt bei fg steht, dann schwingt der Strahl nur noch mit einer Intensität yy' durch, bis endlich bei der Lage des Hauptschnitts in hi, die auf die Schwingungsebene senkrechte Componente, die verloren geht, = bc (nämlich ba + ca) wird, während die in die Schwingungsebene fallende Componente Null geworden, d. h. es ist die ganze Amplitude der Aetherschwingungen des extraordinären Strahls nunmehr vernichtet, es gelangt kein Licht durch den Analyseur in mein Auge. So wird es erklärlich, dass bei parallelen Nicols das Gesichtsfeld hell, bei gekreuzten Nicols vollkommen dunkel ist und dass bei dem allmäligen Uebergange der Nicols aus der ersten in die zweite Stellung die Helligkeit immer mehr abnimmt.

Die Dunkelheit jedoch, die bei gekreuzten Nicols herrscht, kann in wunderbarer Weise erhellt werden, indem man zwischen die beiden, Dunkelheit erzeugenden durchsichtigen Körper eine dritte gleichfalls durchsichtige und farblose Substanz, z. B.

eine nicht zu dicke, entweder *parallel* oder aber *senkrecht* zur Axe geschnittene Quarzplatte so in die Röhre schiebt, dass die Axe der Platte auf jener der Röhre senkrecht steht oder mit ihr zusammenfällt. Aber nicht blos hell erscheint jetzt das früher dunkle Gesichtsfeld, sondern auch, wenn die Dicke der Platten sich innerhalb gewisser Grenzen hält, farbig (stets farbig bei den senkrecht zur Axe geschnittenen Platten, bei den parallel zur Axe geschnittenen bei bestimmter Lage der Axe) und zwar hängt die Farbe ceteris paribus von der Dicke der Quarzplatte ab. Bei einer bestimmten Dicke erscheine dieselbe bei *gekreuzten* Nicols z. B. roth, dann wird sich herausstellen, dass wenn man nunmehr den Analyseur um 90° dreht, so dass die Nicols *parallel* werden, die Farbe in Grün übergegangen ist. Das Gesichtsfeld erscheint jetzt in der *Gegen*- oder in der *Complementär*farbe.

Die in Rede stehende Quarzplatte erscheint also *grün*, wenn die Schwingungsebene des aus dem Polariseur austretenden linear-polarisirten Strahls in die Schwingungsebene des Analyseurs fällt, dagegen *roth*, wenn die Schwingungsebenen von Analyseur und Polariseur einen rechten Winkel bilden.

Und nun wird man das folgende Phänomen begreifen. Man setze an Stelle des Polariseurs einen Kalkspathkrystall, so dass das einfallende Licht senkrecht auf dessen Axe trifft. Aus dem Krystall treten in die Röhre zwei getrennte Lichtbündel, deren Strahlen senkrecht zu einander polarsirt sind. Das eine der Doppelbilder wird jetzt *grün*, das andere in der Complementärfarbe *roth* erscheinen müssen, wenn der Kalkspathkrystall so orientirt ist, dass die Schwingungsebene des extraordinären Strahls mit der Schwingungsebene des Analyseurs zusammenfällt, daher die Schwingungsebene des ordinären Strahls mit dem Hauptschnitt des Analyseurs einen rechten Winkel bildet, erscheint ja doch die Quarzplatte bei *parallelen* Schwingungsebenen der Nicols *grün*, bei gekreuzten aber *roth*!

Jemand, der Roth und Grün verwechselt, wird jetzt zwei *gleichfarbige* Felder erblicken. Diese Felder könnten dem Farbenblinden zwar in gleicher Farbe, aber in verschiedener Helligkeit erscheinen. Um die Helligkeit der beiden Felder zu ändern, beziehungsweise um beide Felder gleich hell zu machen, lässt man das Licht, ehe es in den Kalkspath fällt, durch ein

Nicol'sches Prisma hindurchgehen. Durch die Drehung dieses Prismas wird, wenn man an die früheren Erörterungen (pag. 28) denkt, bald das eine, bald das andere Doppelbild ausgelöscht, beziehungsweise jedem Bilde eine Helligkeit von Null bis zum Maximum gegeben werden können. Das Maximum der Helligkeit für eines der Bilder wird erreicht, wenn die Schwingungsebene des Nicols mit der Schwingungsebene des betreffenden Strahls zusammenfällt, in welchem Moment das zweite Bild verschwindet, da ja die Schwingungsebene von dessen Strahlen mit der Schwingungsebene der Strahlen des zweiten Bildes, also auch mit jener des Nicols nunmehr einen rechten Winkel einschliesst. Das Licht würde also in einem derartigen Apparate, der den Zweck hat, zwei für den Farbenblinden in gleicher Farbe und in gleicher Helligkeit erscheinende Bilder herzustellen, durch zwei Nicol'sche Prismen, einen Doppelspath und eine Quarzplatte gehen.

Ehe wir zur Beschreibung der verschiedenen Apparate übergehen, bliebe noch zu erörtern übrig, in welcher Weise durch die Einschiebung der Quarzplatte die genannten Farbenerscheinungen erzeugt werden. Das möge im Princip und zwar zunächst für eine parallel zur Axe geschnittene Platte auseinandergesetzt werden. AB sei ein Strahl rothen Lichts; ab sei die Wellenlänge dieses Lichts. Der Abstand zweier nächst gelegener

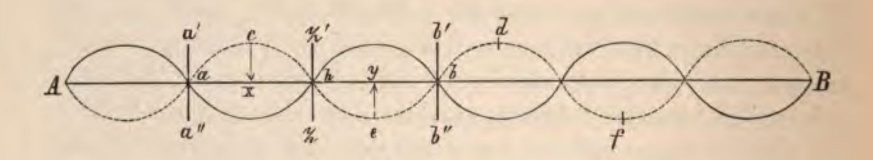


Fig. 5.

Aethertheilchen die sich in Fig. 5 in derselben Schwingungsphase befinden, ist die Wellenlänge des betreffenden Lichtes. Das Theilchen a der gestrichelten Welle ist eben im Begriffe bis nach a' auszuschwingen, und das nächste Aethertheilchen, welches die analoge Bewegung (nach b') auszuführen beginnt, ist das Theilchen b, daher ist ab einer Wellenlänge gleich, ebenso wie cd (der Abstand zweier benachbarter Wellenberggipfel) oder wie ef, durch welche Grösse der Abstand der tiefsten

Punkte zweier benachbarter Wellenthäler angegeben wird, eine Wellenlänge darstellt. Man darf sich nicht vorstellen, als ob etwa durch die Welle das Theilchen a in der Richtung des Lichtstrahls AB nach b und so weiter vorgetrieben würde; es schwingt vielmehr, wenn uns AB einen gewöhnlichen oder linearpolarisirten Lichtstrahl vorstellt, ununterbrochen zwischen a' und a'' hin und her und ebenso thun es alle übrigen Aethertheilchen dieser Welle, nur dass sie sich innerhalb einer Wellenlänge in verschiedenen Schwingungsphasen befinden. Während also a eben nach a' zu schwingen beginnt, ist z. B. c eben im Begriffe, nach abwärts in der Richtung cx zurückzuschwingen, während e aus der Tiefe des Wellenthals noch oben in der Richtung ey umkehrt. Da der Wellenberg dem Wellenthale gleich ist, so ist ah eine halbe Wellenlänge. Das Theilchen h ist in demselben Momente im Begriffe nach abwärts in der Richtung hz mit der Kraft K auszuschwingen, als das Theilchen a oder das um eine ganze Wellenlänge entfernte Theilchen b mit der gleichen Kraft K nach oben zu schwingen beginnt. Die Theilchen a und h, die um eine halbe Wellenlänge von einander abstehen, befinden sich in einer gerade entgegengesetzten Schwingungsphase, gerade so wie die Theilchen c und e, da xy auch eine halbe Wellenlänge darstellt. Denken wir uns, dass das Aethertheilchen h gleichzeitig von zwei Lichtstrahlen in Oscillation versetzt wird, von denen der eine (betrachten wir den, dessen Wellen punktirt sind, Fig. 5) um eine halbe Wellenlänge dem andern (mit ausgezogenen Wellen) voraus ist oder nachsteht, und nehmen wir an, dass Wellenlänge wie Schwingungsamplitude für die Aethertheilchen beider Lichtstrahlen die gleiche ist, so wird in demselben Momente, in welchem das Aethertheilchen h in dem einen (ausgezogenen) Lichtstrahl mit der Kraft hz' nach z' gestossen wird, dasselbe Theilchen h in dem andern Lichtstrahl mit der Kraft hz = hz' in die gerade entgegengesetzte Richtung getrieben. Die Folge davon muss sein, dass das Theilchen h in Ruhe bleibt, das Licht vernichtet wird. Wenn also zwei Lichtstrahlen von gleicher Intensität (Oscillationsamplitude) auf einander stossen (interferiren), von denen der eine dem andern um eine halbe Wellenlänge, (oder das Vielfache einer halben Wellenlänge) vorauseilt, so muss die Folge dieser Interferenz die Vernichtung des Lichtes

sein, so wie anderseits zwei interferirende Lichtstrahlen in ihrer Wirkung sich unterstützen werden, wenn ihr Weg um eine ganze Wellenlänge oder das Vielfache einer Wellenlänge differirt, da ja in diesem Falle das Aethertheilchen, durch die Summe zweier Kräfte, die in der gleichen Richtung wirken, bewegt werden wird.

Wir sprachen bisher von der Interferenz zweier Lichtstrahlen gleicher Wellenlänge. Nun haben die farbigen Lichter verschiedene Wellenlänge. So wird z. B. die Wellenlänge des äussersten Roth im Sonnenspectrum (Linie A) mit 760, jene des äussersten Violett (Linie H) mit 397 Milliontel Millimeter angegeben. Wenn nun zwei Strahlen weissen Lichts interferiren und diese Strahlen treffen so aufeinander, dass z. B. die rothen Strahlen gerade um eine halbe Wellenlänge in ihrem Gange differiren, so wird das rothe Licht ausgelöscht, während die anderen farbigen Strahlen, aus denen das weisse Licht besteht — Strahlen, die sämmtlich eine andere Wellenlänge haben als das rothe Licht — nicht den gleichen Gangunterschied zeigen, daher nicht gänzlich verlöscht werden können. Wenn aber aus dem weissen Licht das Roth weggenommen wird, so bleibt farbiges Licht übrig. So wird durch die Interferenz zweier weisser Lichtstrahlen farbiges Licht entstehen können, farbiges Licht jeder Art, je nachdem im Momente der Interferenz diese oder jene farbige Lichtart einen Gangunterschied von einer oder vielen halben Wellenlängen zeigt.

Es wird nun klar werden, dass wenn durch Interferenz zweier weissen Lichtstrahlen Farben entstehen, dieselben von der Dicke des Mediums abhängen, durch welches die beiden Strahlen von verschiedener Geschwindigkeit geeilt sind, ehe sie nach ihrem Austritte aus diesem Medium zur Interferenz gebracht wurden, und es wird auch einleuchten, dass wenn das genannte Medium eine bestimmte Dicke erreicht, die Farbenerscheinungen immer mehr an Lebhaftigkeit verlieren.

Denken wir uns, es werde ein weisser Lichtstrahl bei dem Eintritte in ein Medium in zwei Strahlen zerlegt, die mit ungleicher Geschwindigkeit sich fortpflanzen, und wobei dieses Medium eine solche Dicke hätte, dass das rothe Licht des einen Strahl's dem des andern bei dem Austritte aus der doppelbrechenden

Substanz gerade um eine halbe Wellenlänge vorausgeeilt ist und es würden die beiden Strahlen nunmehr zur Interferenz gebracht, so würde das rothe Licht ausgelöscht, während alle übrigen farbigen Strahlen, deren Wellenlänge kürzer ist, um mehr als eine halbe Wellenlänge ihren Partnern voraus wären und daher, so lange die Differenz ihrer Wege nicht 3 halbe Wellenlängen betrüge, was thatsächlich nicht möglich ist, nicht gänzlich vernichtet werden könnten, daher ein solches Medium in einer Farbe erscheinen wird, in welcher das Roth fehlt, alle übrigen Farben aber noch mit einer bestimmten Intensität vertreten sind. Man wird jetzt begreifen, dass, wenn die Dicke dieses doppelbrechenden Mediums allmählig abnimmt, die Werthe dieser Dicke allmählig solche Grössen erlangen werden, dass nach dem Austritte der Lichtstrahlen der Reihe nach das gelbe, grüne, blaue und violette Licht der beiden Strahlen gerade um eine halbe Wellenlänge differiren wird, so dass, wenn die beiden austretenden weissen Lichtstrahlen interferiren mit der abnehmenden Dicke des dünnen Blättchens der Reihe nach das rothe, gelbe, grüne, blaue und violette Licht ausgelöscht und daher das Blättchen je nach seiner Dicke in einer andern Farbe erscheinen wird.

Dass solche Blättchen, wenn sie eine bestimmte Dicke erreichen, immer schwächer und schliesslich gar nicht mehr gefärbt erscheinen, hat folgenden Grund: Nehmen wir an, es ginge ein weisser Lichtstrahl durch ein Blättchen, dessen Dicke 380 Milliontel Millimeter beträgt. Beim Austritte aus diesem Blättchen hat das Roth der Linie A gerade eine halbe Wellenlänge zurückgelegt, während das violette Licht der Linie H, dessen Wellenlänge 397 Milliontel Millimeter beträgt, beinahe eine ganze Wellenlänge hinter sich hat, sodass der rothe und der violette Antheil dieses weissen Lichtstrahls sich in nahezu entgegengesetzter Schwingungsphase befinden. Geben wir jetzt dem Medium eine zehnfache Dicke, also eine solche von 3800 Milliontel Millimeter, so legt jetzt der rothe Strahl zehn halbe Wellenlängen, d. i. 5 ganze Wellenlängen beim Durchgange durch das Medium zurück, während der violette Strahl nahezu 10 ganze Wellenlängen durchläuft, so dass, da die Differenz im Gange des rothen und des violetten Strahls nahezu das Vielfache einer ganzen Wellenlänge beträgt, die beiden Strahlen jetzt nahezu in gleicher

Schwingungsphase sich befinden. Nun können wir auch verstehen, dass, wenn zwei Strahlen durch ein sehr dünnes Medium laufen, die Schwingungsphasen der einzelnen farbigen Lichter wesentlich differiren, während mit zunehmender Dicke mehrere farbige Lichter mit gleicher oder wenig verschiedener Schwingungsphase ihrer Aethermoleküle austreten und durch ihre Mischung ein dem Weiss sich immer mehr näherndes Licht ergeben werden.

Bringen wir eine parallel zur Axe geschnittene Quarzplatte zwischen zwei Nicols, so zwar, dass die Schwingungsebenen der beiden Nicols parallel sind, also beide durch die Linie MN (Fig. 6) dargestellt werden und orientiren wir die doppelbrechende Quarzplatte so zwischen den beiden Nicols, dass die Schwingungsebenen des ordinären und des extraordinären Strahl's einen Winkel von 45° mit dem Hauptschnitt MN der Nicols bilden, so erscheint die Quarzplatte, falls ihre Dicke einen gewissen Werth nicht überschreitet, in einer intensiven Farbe. Der Quarz ist wie der Kalkspath ein einaxiger doppelbrechender Krystall und zwar ein **positiver**, d. h. ein solcher, in welchem der extraordinäre Strahl stärker gebrochen wird als der ordinäre und sich langsamer wie dieser, am langsamsten in der zur Axe senkrechten Richtung fortpflanzt, während der Kalkspath, bei dem, wie wir wissen, der extraordinäre Strahl schwächer gebrochen wird wie der ordinäre, und sich schneller wie dieser, am schnellsten senkrecht zur Axe fortbewegt, zu den einaxigen **negativen** Krystallen gehört.

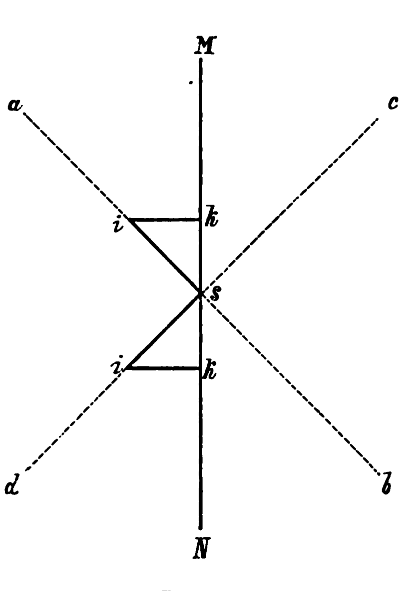


Fig. 6.

Das Licht, das durch den untern Nicol gegangen und durch denselben linearpolarisirt wurde, fällt senkrecht zur Axe auf den parallel zur Axe geschnittenen Quarz und wird in dem-

selben in zwei Strahlen zerlegt, die in gleicher Richtung, aber senkrecht zu einander polarisirt (so dass die Schwingungsebenen der beiden Strahlen durch die Linien ab und cd (Fig. 6) dargestellt werden) den Krystall durchlaufen, um nach ihrem Austritte in die Schwingungsebene MN des oberen Nicols gezwängt und so zur Interferenz gebracht zu werden.

Nehmen wir an, es wäre einfarbiges rothes Licht auf den untern Nicol gefallen und die Dicke der Quarzplatte wäre eine solche, dass die beiden Strahlen, in welche der auf den Krystall senkrecht zur Axe auffallende Strahl zerlegt wurde, nach ihrem Austritt aus dem Quarz einen Gangunterschied des Vielfachen einer halben Wellenlänge darbieten, so wird das Aethermolekül s des einen Strahls in der Richtung von sd mit der Intensität si in demselben Momente getrieben, in welchem das Aethermolekül s in der Schwingungsebene ab des zweiten Lichtstrahles in der Richtung von sa in der gleichen Intensität von si gestossen wird. Würden die beiden Strahlen in der gleichen Schwingungsphase sich befinden, so würde das Aethermolekül des einen Strahles in der Richtung von sd mit der Intensität si und die des andern Strahles in der Richtung von sb mit der gleichen Intensität si schwingen.

Da die Schwingungen der beiden Strahlen auf die Schwingungsebene MN des obern Nicols reduzirt werden müssen, so wird ein Aethermolekül jenes Strahls, dessen Schwingungen in cd liegen mit der Intensität sk in der Richtung von s nach N und ein Molekül des Strahles dessen Schwingungen in der Ebene von ab erfolgen, in der Richtung von s nach M mit der gleichen Intensität getrieben.

Wenn aber auf s zwei gleiche, jedoch gerade entgegengesetzte Kräfte wirken, so werden sich dieselben aufheben, das Aethermolekül wird in Ruhe bleiben, die beiden Lichtstrahlen werden sich vernichten. Ist statt rothen Lichts weisses Licht auf den untern Nicol gefallen, so wird aus dem obern Nicol Licht austreten in dem die rothen Strahlen fehlen. Die Quarzplatte wird gefärbt erscheinen, ihre Farbe wird eine Mischung aller anderen Farben sein, deren jede je nach dem Gangunterschiede ihrer Strahlen mit verschiedener Intensität in der Mischfarbe vertreten sein wird.

Drehe ich den obern Nicol um 90°, so dass also (Fig. 7) MN die Schwingungsebene des Polariseurs, OP jene des Analyseurs darstellt, so wird nunmehr die Intensität si des ordinären wie des extraordinären Strahls wieder auf die Intensität sk reducirt, mit dem Unterschiede jedoch, dass das Aethermolekül s sowohl durch die eine, wie durch die andere Kraft in der Richtung von s nach O, also mit verdoppelter Oscillationsamplitude gegen O hingetrieben wird, die beiden rothen Lichtstrahlen sich nunmehr unterstützen (wiewohl sie um ½ Wellenlänge differiren). (Sie stossen nämlich nicht direct auf einander, sondern ihre Richtung sowohl wie ihre Intensität ist im Moment der Interferenz geändert.) Wir ersehen also daraus, dass bei parallelen Nicols jenes Licht verschwindet, das bei gekreuzten Nicols intensiv hervortritt und dass natürlich auch das Umgekehrte der Fall ist. Daraus folgt, dass die Farbe des Quarzplättchens bei parallelen Nicols complementär zu jener ist,

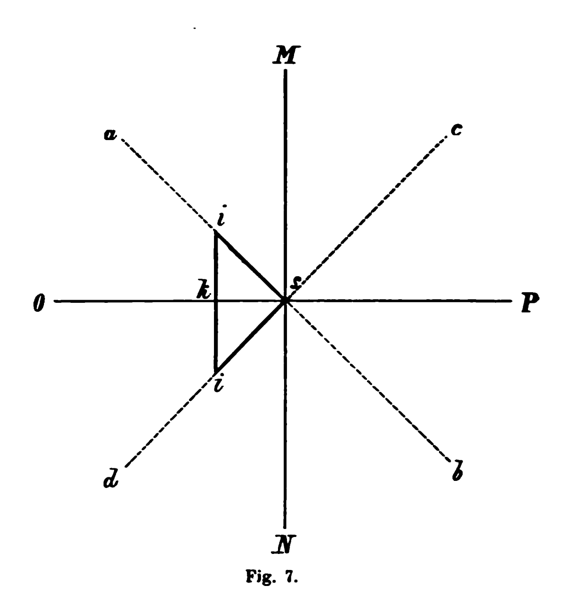


Fig. 7.

die der Krystall bei gekreuzten Nicols zeigt, da bei der einen Stellung aus dem weissen Licht gerade jene Farben herausgenommen werden, welche bei der andern Stellung vorhanden sind, und in der ersten Stellung jene Farben vertreten sind, die bei der zweiten Stellung fehlen. Die Farben der ersten und der zweiten Stellung müssen also zusammen Weiss geben.

Setzt man an Stelle des oberen Nicols einen Kalkspathkrystall oder einen andern parallel zur Axe geschnittenen doppelbrechenden Körper, so hat man als Analyseur gleichsam zwei Nicols mit gekreuzten Axen. Richtet man die Schwingungsebene des extraordinären Strahls so, dass dieselbe mit MN zu-

sammenfällt, so wird das Bild dieses Strahls in jener Farbe erscheinen, welche die Quarzplatte bei parallelen Nicols darbietet, während das gleichzeitige Bild des ordinären Strahls die Farben der Quarzplatte bei gekreuzten Nicols darbieten wird, da ja die Schwingungsebene OP dieses Strahls mit der Schwingungsebene des Polariseurs MN einen rechten Winkel bildet.

Wenn eine zur Axe parallel geschnittene Quarzplatte zwischen parallelen Nicols etwa blau erscheint, wird sie bei gekreuzten Nicols die Farbe: Gelb zeigen. Wie aber erfolgt bei der Drehung des Analyseurs von 0° bis 90° der Uebergang von Blau zu Gelb? Die Quarzplatte sei zunächst zwischen den Nicols so orientirt, wie es Fig. 6 ersichtlich macht. Die Schwingungsebenen der Strahlen innerhalb des Krystalls bilden Winkel von 45° mit dem Hauptschnitte der Nicols. Die Farbe der Quarzplatte sei ein ziemlich gesättigtes Blau. Sowie ich aber den Analyseur zu drehen beginne, nimmt die Sättigung des Blau ab; mit fortschreitender Drehung wird das Blau immer weisslicher, bis ein Moment kommt, in dem das Feld seine Farbe verloren hat und ganz farblos (weiss) erscheint. Und habe ich als Analyseur einen doppelbrechenden Körper genommen, so werden die beiden complementär gefärbten Felder gleichzeitig immer weisslicher, bis bei jenem Grade der Drehung, bei welchem das eine Feld weiss geworden, auch das andere seine Farbe verloren hat, also beide Felder weiss erscheinen. Sehe ich jetzt an einem Gradbogen, der mir die Grösse der Drehung anzeigt, nach, um wie viele Grade ich gedreht, so erkenne ich, dass die Drehung genau um 45° erfolgt ist. Die Schwingungsebene MN des Analyseurs fällt daher jetzt mit der Schwingungsebene ab oder cd zusammen. Die Schwingungen jenes Strahles, die in ab (resp. cd) erfolgen, gehen ungehindert durch den Analyseur, die Schwingungen des zweiten Strahls cd (resp. ab) werden vernichtet, weil sie nunmehr senkrecht zur Schwingungsebene des Analyseurs erfolgen (vgl. pag. 28). Aus dem Analyseur tritt überhaupt nur ein weisser Strahl, es kommt also gar nicht zur Interferenz zweier weisser Lichtstrahlen, kann also nicht zur Bildung von Farben kommen. Ist der Analyseur ein Kalkspathkrystall, so wird wenn die Schwingungsebene des ordinären Strahls mit ab zusammenfällt, jene des extraordinären mit cd coincidiren. Durch die erstere Schwingungsebene werden ausschliesslich die Schwing-

ungen des in ab schwingenden, durch die letztere ausschliesslich die Schwingungen des in cd schwingenden Strahles hindurchtreten können. Jedes der beiden Doppelbilder wird daher nur von Einem weissen Licht dargestellt, beide Bilder erscheinen daher weiss.

Wird die Drehung des Analyseurs über 45° hinaus fortgesetzt, so taucht bald aus dem Weiss wieder eine Farbe auf, welche der frühern entgegengesetzt ist und die an Sättigung immer mehr zunimmt, bis sie, wenn MN des Analyseurs die Stellung von OP erlangt hat, also um weitere 45°, im Ganzen um 90° gedreht ist, in ihrer relativ grössten Sättigung hervortritt. War der Analyseur durch einen doppelbrechenden Körper dargestellt und waren die zwei Farben bei parallelen Nicols Blau und Gelb, so hat man jetzt wieder dieselben Farben vor sich, nur dass jenes Feld, das früher blau war, jetzt gelb und das früher gelbe jetzt blau erscheint.

Die Färbung der Quarzplatte hängt ceteris paribus von ihrer Dicke ab. Fällt ursprünglich der aus dem Polariseur austretende Lichtstrahl xy senkrecht auf die Quarzplatte A (deren Axe op) (Fig. 8), so bezeichnet ab die Plattendicke. Drehe ich aber die Platte so, dass sie gegen xy geneigt wird, also etwa die Stellung A' einnimmt, so ist jetzt die Dicke der Platte durch cd gegeben, die Platte ist gleichsam dicker geworden. So kann man durch Drehung der Platte um eine zum einfallenden Licht senkrechte Axe derselben verschiedene Dicke und damit ceteris paribus verschiedene Färbung geben.

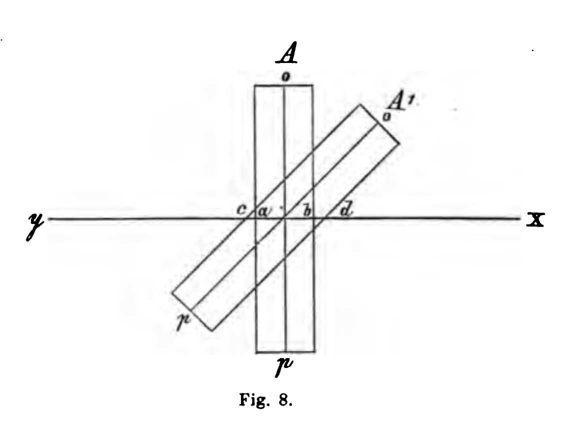


Fig. 8.

Wenn wir alles bisher Gesagte verstehen, dann werden wir auch die Wirkungen jenes Apparats begreifen, den Colardeau und Izarn auf Anregung Chibret's 1885 construirt und „Chromatoptometer und Photoptometer“ benamset haben.

Aber zum Verständniss zweier analoger Apparate frühern Datums, nämlich des Rose'schen Farbenmessers (1863) und des Leukoskop's von Arthur König (1884) müssen wir noch jene optischen Eigenschaften besprechen, die einer nicht parallel, sondern senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatte zukommen, falls eine solche Platte zwischen zwei Nicols eingeschaltet wird. In diesem Falle würde in Fig. 8 xy die Axe des Apparates und nicht op, sondern ab die Axe der Quarzplatte darstellen.

Bei parallelen Nicols zeigt eine solche Platte, falls sie nur nicht zu dünn, aber auch nicht zu dick ist, eine bestimmte Farbe, z. B. Purpur. Drehe ich nun den Analyseur wie den Zeiger einer Uhr nach rechts, so geschieht es nicht wie bei der Anordnung des Versuches mit der parallel zur Axe geschnittenen Platte (Fig. 7), dass das Purpur immer weisslicher wird bis bei Drehung um 45° die Farbe reinem Weiss Platz macht, um bei weiterer Drehung in ein weissliches, dann immer gesättigteres Grüngelb überzugehen, das bei gekreuzten Nicols die grösste Sättigung erreicht, bei weiterer Drehung wieder weisslich, bei 135° (90° + 45°) weiss wird und dann allmälig wieder Purpurfarbe annimmt, bis bei einer Drehung von 180° die Nicols wieder parallel stehen und die ursprüngliche gesättigte Purpurfarbe wieder hergestellt ist, sondern es bietet sich ein Phänomen ganz anderer Art. Es geht nämlich die Purpurfarbe nicht einfach in Weiss und dann in die Complementärfarbe über, sondern es verwandelt sich das Purpur bei wachsender Drehung der Reihe nach mit allmäligem Uebergange in Roth, Gelb, Grün, Blau und Violett, um wenn die Drehung von 180° vollendet ist, die Schwingungsebenen der Nicols also wieder zusammenfallen, wieder bei Purpur anzulangen. Wird die Drehung weiter fortgesetzt, so folgt das Farbenspiel in dem gleichen Wechsel, bis bei einer vollständigen Umdrehung des Analyseurs (um 360°) das ursprüngliche Bild wieder hergestellt ist. Solche Quarzkrystalle, bei denen man den Analyseur wie den Zeiger einer Uhr drehen muss, um die genannte Reihenfolge der Farben zu erzeugen, nennt man rechtsdrehend, zum Unterschiede von anderen linksdrehend genannten Quarzkrystallen, welche zwischen zwei Nicols die genannte Farbenreihe dann zeigen, wenn man den Analyseur in umgekehrter Richtung als ein Uhr-

zeiger sich bewegt, herumdreht. Die Undulationstheorie erklärt diese Erscheinungen durch die Annahme, es werde der linearpolarisirte Lichtstrahl, der aus dem Polariseur kommt, in der Axe des Quarzkrystalls in zwei circular-polarisirte Strahlen von gleicher Amplitude der Aetherschwingung, aber von entgegengesetzter Drehungsrichtung zerlegt, wobei der eine der Strahlen dem andern im Krystalle vorauseilt, so zwar, dass im rechtsdrehenden Krystall der nach rechts, im linksdrehenden der nach links rotirende die grössere Eile entwickelt. In der Schwingungsebene des Analyseurs werden dann diese beiden circularpolarisirten Strahlen zur Interferenz gebracht.

Auf eine genauere Erörterung des Zustandekommens der Circularpolarisation und der Wirkungen der Interferenz von circularpolarisirten Strahlen wollen wir zwar verzichten, aber doch auf Grund der Erscheinungen, die bei Verwendung von einfarbigem Licht auftreten, klar machen, wie so eine zur Axe geschnittene Quarzplatte von bestimmter Dicke zwischen zwei Nicols immer farbig erscheint. Ich sehe durch gekreuzte Nicols, deren Hauptschnitte ein verticales Kreuz bilden, nach dem Roth an der Grenze des Orange eines Sonnenspectrums. Es herrscht Finsterniss. Ich schiebe zwischen die gekreuzten Nicols eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte von 1.5 mm Dicke. Sofort erhellt sich das Gesichtsfeld in einem bestimmten Grade. Drehe ich aber jetzt den Analyseur und zwar je nachdem der Krystall rechts- oder linksdrehend ist, nach rechts oder nach links, so wird das Gesichtsfeld dunkler und wird ganz dunkel, wenn ich den Analyseur um 30° gedreht habe. Es muss also die Quarzplatte die Wirkung gehabt haben, dass sie die senkrechte Schwingungsebene des aus dem Polariseur kommenden Strahls um 30° nach rechts (oder nach links) gedreht hat. Denn ich musste die horizontale Schwingungsebene des Analyseurs um 30° drehen, damit das Licht ausgelöscht wird, d. h. damit die Schwingungsebene des an den Analyseur pochenden Strahls wieder einen Winkel von 90° mit der Schwingungsebene eben dieses Analyseurs bildet. Richte ich aber jetzt (wir bleiben nunmehr bei einem rechtsdrehenden Krystall) das Instrument in seiner neuen Lage auf einen brechbarern Theil des Spectrums, z. B. auf das Grün an der Grenze des Blau, so wird das Gesichtsfeld wieder hell und ich muss den Analyseur um weitere

15°, also im Ganzen um 45° drehen, um wieder Dunkelheit herzustellen. Und je weiter ich mein Instrument gegen das violette Ende des Spectrums schweifen lasse, desto stärker muss ich drehen, um das Licht zu eliminiren, bis zur Herstellung der Dunkelheit im äussersten Violett eine Drehung des Analyseurs um etwa 66° nothwendig wird.

Die Quarzplatte dreht also die Polarisationsebene und zwar für jeden der farbigen Strahlen in anderer Weise. Die Polarisationsebene wird für eine Quarzplatte von bestimmter Dicke um so stärker gedreht, je kürzer die Wellenlänge des Lichtes ist, daher am wenigsten jene der rothen, am stärksten jene der violetten Strahlen. Daher ist auch leicht zu verstehen, warum, wenn weisses Licht in den Apparat eintritt, die Quarzplatte immer farbig erscheinen muss. Denn bei jeder Stellung des Nicols ist nur Eine Farbe verlöscht oder wesentlich geschwächt, während die übrigen durch ihr Gemisch den Farbenton bestimmen, welcher in Folge der durch Drehung des Nicols aufeinanderfolgenden Auslöschung der einzelnen Spectralfarben sich beständig ändern muss, bis das Spiel von Neuem beginnt.

Das Drehungsvermögen der Quarzplatte ist ihrer Dicke proportional. Dreht also eine Platte von 1.5 mm Dicke die rothen Strahlen um 30°, die violetten um 66°, so wird eine Platte, deren Dicke 15 mm beträgt, die rothen Strahlen um 300°, die violetten dagegen um 660° drehen. Bei der letztern Drehung fallen 360° nicht in Betracht, da ja der Theilstreich von 360° (einer vollständigen Umdrehung) mit dem Nullpunkt zusammenfällt. Gegen den Nullpunkt also sind dann die violetten Strahlen um 300° gedreht, d. h. genau um dieselbe Drehungsgrösse, welche die rothen Strahlen erfahren. Es wiederholt sich hier bei der Interferenz circular-polarisirter Strahlen dasselbe, was wir früher (pag. 34) für die Interferenz linear-polarisirter Strahlen kennen gelernt haben. Je dicker die Quarzplatte, desto mehr Minima und daher auch desto mehr Maxima verschiedenfarbiger Lichter fallen zusammen, desto weisslicher werden die Farben, bis, sobald die Quarzdicke einen bestimmten Werth erreicht hat, bei der Drehung des Analyseurs stets eine Anzahl von Farben, die zusammen Weiss geben, im Maximum der Intensität sich befindet, so dass die Drehung des Analyseurs keinen Effect hervorruft, indem das Gesichtsfeld immer weiss

bleibt. oder vielmehr den merkwürdigen Effect hervorruft, dass das Gesichtsfeld immer hell bleibt, ob die Nicols parallel oder ob sie gekreuzt sind, wobei man die Quarzplatte nach Belieben um ihre Axe drehen kann.

Wenn wir die wichtigsten Polarisationsapparate, die zur Farbenprüfung verwendet wurden, in chronologischer Reihenfolge vorführen wollen, müssen wir zuerst die Apparate von Edmund Rose und von Arthur König, dann den Apparat Chibret's beschreiben.

1. Rose's Farbenmesser (1863) [1].

Arago hat 1833, um das Gesetz des Cosinusquadrats in Bezug auf die Intensität des von doppelbrechenden Krystallen durchgelassenen polarisirten Lichts zu beweisen, eine Zusammenstellung optischer Medien gemacht, die Edmund Rose 30 Jahre später (1863) Arago entnahm, um mit seinem „Farbenmesser" Prüfungen des Farbensinnes vorzunehmen.

Rose verwendete für seinen Apparat das Stativ eines Wappenhans'schen Mikroskops. Das vom Concavspiegel des Mikroskops zurückgeworfene Licht, geht zuerst durch den untern Nicol, welcher bestimmt ist, durch seine Drehung die Lichtstärke der beiden Bilder zu beeinflussen, welche das doppelbrechende Kalkspathprisma, auf welches das Licht nach seinem Durchgang doch den untern Nicol trifft, von diesem Lichte entwirft. Indem das Licht seinen Weg fortsetzt, fällt es auf eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte von 5 Millimeter Dicke, um endlich durch den obern Nicol ins Auge des Beobachters zu gelangen, der die Doppelbilder in complementären Farben sieht, die sich mit der Drehung des obern Nicols ändern.

Jemand, der eine Störung des Farbensinnes hat, wird nun vielleicht bei Drehung des obern Nicols eine Stelle finden, wo ihm die dem Farbentüchtigen complementär gefärbt erscheinenden Felder gleichgefärbt vorkommen. Dabei aber könnten die gleich-gefärbten Felder ungleich hell sein. Um nun eine vollständige Gleichung also eine solche nicht blos in Betreff der Farben, sondern auch in Betreff der Helligkeit herzustellen,

---

[1] Ueber die Hallucinationen im Santonrausch, pag. 35, in Virchow's Archiv 28. Band 1863.

braucht nur der untere Nicol, dessen Drehung ja die Helligkeiten der beiden Felder beeinflusst, so lange gedreht zu werden, bis die beiden Felder auch gleich hell, mithin vollkommen gleich erscheinen. (Vgl. oben pag. 30.)

Rose hat sich seinen Apparat selbst zusammengestellt und nicht angegeben, wie man sich einen solchen verschaffen könne. Das mag wohl der Grund sein, dass sein Farbenmesser so wenig bekannt und verwendet wurde.

Und wie von Arago bis Rose, so sind von Rose bis heute (1893) wieder 30 Jahre verflossen und jetzt erst finden die auf dem Princip von Rose beruhenden Farbenmesser in einer Lehre des Farbensinnes eine eingehendere Würdigung.

2. König's Ophthalmo-Leukoskop (1884) [1].

König construirte nach einem von v. Helmholtz zu einem andern Zwecke erdachten und Leukoskop genannten Apparate sein im Wesentlichen genau dasselbe, nur billigere, Ophthalmo-Leukoskop genannte Instrument. Königs's Instrument hat dieselben Bestandtheile wie Rose's Farbenmesser, nur dass das 1. Nicol, durch welches bei Rose das Licht einfällt, fehlt. In einem horizontalen Rohre, dass gegen den bedeckten Himmel oder gegen eine beleuchtete Wand oder auch gegen eine nicht zu starke Gas- oder Petroleumflamme gerichtet wird, geht das Licht durch einen doppelbrechenden Krystall als Polariseur, dann durch eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte und endlich durch einen analysirenden Nicol. Unverständlich ist nur, wie König glauben konnte, ein neues Instrument zur Prüfung des Farbensinnes anzugeben, da die Beschreibung des Rose'schen Farbenmessers sich schon in der 1. Auflage von Helmholtz' Physiologischer Optik [2]) findet.

König verwendet für die Quarzplatten eine kurze Röhre, die in das Rohr des Apparates eingelegt werden kann. An jedem Ende dieser Röhre findet sich eine solche Platte, die eine mit einer Dicke von 5, die andere mit einer solchen von 10 mm. Man kann jede dieser Platten einzeln oder auch beide Platten gleichzeitig verwenden, so dass Quarzplatten in der Dicke von

---

[1]) Hirschberg's Centralblatt 1884, pag. 375. Zu beziehen durch Schmidt und Hänsch, Berlin, für 80 Mark.

[2]) 1867, pag. 847.

5, 10 und 15 mm zur Verfügung stehen. Die zwei farbigen Felder, welche quadratisch sind, weil das Diaphragma, durch welches das Licht passirt, einen quadratischen Ausschnitt hat, erscheinen grösser als bei Rose, weil sie in die Brennweite einer starken Convexlinse gestellt sind und ausserdem durch ein astronomisches Fernrohr am Ocularende des Apparates vergrössert werden.

Legt man die Quarzplatte von 5 mm ein, so ist das Farbenspiel sehr schön. Dreht man das Nicol'sche Prisma (den Analyseur), soweit die Apparateinrichtung es gestattet, wie den Zeiger einer Uhr von links nach rechts, so zeigen die beiden Felder der Reihe nach folgende Farben: Violet, Gelbgrün; Purpur, Grün; Roth, Blaugrün; Gelb, Blau; Gelbgrün, Violet; Grün, Purpur.

Die Farben verblassen bei der Platte von 10 mm Dicke. Man unterscheidet: Röthlich-Blaugrün; Gelblich-Bläulich; Grün-Rosa. Legt man beide Platten, also eine solche von 15 mm Dicke ein, so geht: Gelblich-Bläulich in Grün-Roth, dann in Bläulich-Gelblich (zwei gleich helle weisse Felder, das eine mit bläulichem, das andere mit gelblichem Stich) und endlich in Roth-Grün über.

Hering erhebt (1885) gegen König den Vorwurf, dass, da dem Leukoskop das Objectivnicol von Rose's Farbenmesser fehle, dem Farbenblinden die beiden Felder zwar gleichfarbig, aber niemals gleich hell erscheinen könnten, daher ohne das Objectivnicol Rose's eine wirkliche Gleichung nicht zu erzielen, mithin der Apparat zur Entdeckung der Farbenblindheit unbrauchbar sei.

3. Chibret's Chromato-Photoptometer (1885)[1].

Das Instrument, das Colardeau und Izarn auf Chibret's Anregung construirt haben, unterscheidet sich dadurch wesentlich von den eben angeführten, dass seine Quarzplatte nicht senkrecht, sondern parallel zur Axe geschnitten ist. Diese Platte hat eine bestimmte Dicke. Sie zeigt, wenn die Axe mit den Hauptschnitten des Polariseurs und des Analyseurs einen Winkel von 45° bildet, eine sehr gut definirte,

[1]) Bulletins et mémoires de la Societé française d'Ophtalmologie (Séance du 30. Janvier 1885). Zu beziehen durch E. Giroux, Paris, für 75 fcs.

einer bestimmten, eben desshalb leicht immer wiederzufindenden Dicke des Quarzes entsprechende Farbe: die „teinte sensible dite de second ordre“. Es ist dies das Dunkelpurpur der zweiten Ordnung, das desshalb „empfindliche Farbe“, auch „Uebergangsfarbe“ („teinte de passage“) genannt wird, weil es bei parallel zur Axe geschnittenen Platte durch eine geringe Ab- oder Zunahme der Plattendicke, bei senkrecht zur Axe geschnittenen Platte durch sehr geringe Drehung des Analyseurs nach rechts oder links sehr rasch und auffallend den Farbenton (in Roth resp. Blau) ändert.

Das ganze Instrument (Fig. 9)[1]) hat eine Länge von ca. 20 cm und wird vom Untersuchten an dem Ringe B gefasst

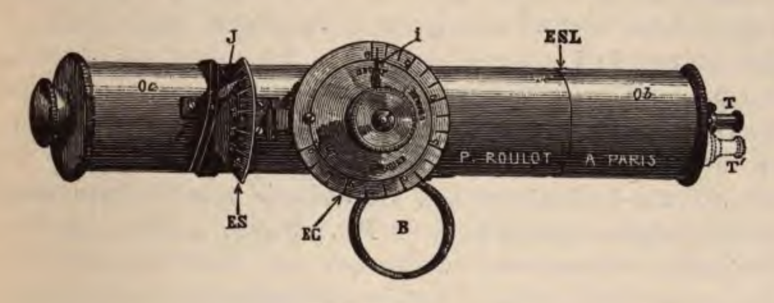


Fig. 9.

und dicht vor das Auge gehalten. Das (drehbare) Objectivrohr Ob enthält den polarisirenden Nicol. Das polarisirte Licht fällt auf die parallel zur Axe geschnittene Quarzplatte, welche um eine auf die Scheibe EC (Echelle des couleurs) senkrechte, also horizontale Axe gedreht werden kann. Der Index i, der an der Scheibe EC befestigt ist, zeigt die Drehungsgrösse an. Ist das Licht durch die Quarzplatte gegangen, so fällt es in den Oculartubus Oc, welcher den doppelbrechenden Analyseur enthält, der um seine Axe gedreht werden kann. Steht der Index I auf 45° der Scheibe ES (Echelle de saturation, Sättigungsscala), so bilden die Schwingungsebenen des Quarzes Winkel von 45° mit der Schwingungsebene des Polariseurs. Dabei bildet die Eine Schwingungsebene des doppelbrechenden Analy-

---

[1]) Die Bezeichnungen der Figur: ESL, T und T' werden erst in der Lehre vom Lichtsinn erörtert werden.

seurs einen Winkel von 90° mit jener des Polariseurs, während die zweite Schwingungsebene des Analyseurs mit jener des Polariseurs zusammenfällt. Das Eine der Doppelbilder, welche kleine runde Scheibchen darstellen, zeigt die Farbe der Quarzplatte zwischen gekreuzten, das andere die Farbe der Platten zwischen parallelen Nicols. Stelle ich den Index i (der Farbenscala) auf den Nullpunkt von Orange (Orangé O), so erscheint der obere Kreis in einem relativ gesättigten Grünblau, der untere in einem solchen Rothgelb. Drehe ich jetzt den Index I (der Sättigungsscala) von 45° gegen 0°, so ändert sich nicht der Farbenton der beiden Felder, aber deren Sättigung. Dieselben werden immer weniger gesättigt, bis endlich bei einer Drehung um 45°, wenn also der Index I auf 0° steht, beide Felder weiss werden. Es ist jetzt der früher (pag 36 Fig. 7) geschilderte Fall eingetreten. Sowie ich nun durch Drehung des Analyseurs alle Sättigungsgrade zweier bestimmter Farbentöne erhalten habe, wenn der Index I der Sättigungsscala von 45° bis 0° wanderte, so kann ich anderseits durch Drehung des Index i der Farbenscala und die dadurch sich ändernde Dicke der Quarzplatte (vergl. pag. 38 Fig. 8) auch sehr verschiedene Farbentöne hervorrufen. Stelle ich den Index so hoch wie möglich, so steht er (Fig. 9) auf dem Nullpunkt von Gelb (Jaune 0). Führe ich den Index von diesem Ausgangspunkte wie den Zeiger einer Uhr, so durchwandert er 10 Theilstriche bis Orange, dann weitere 10 Theilstriche bis Roth (Rouge) und endlich 10 Theilstriche bis Violet. Durch diese Theilung kann ich die jeweilige Stellung der Platte genau difiniren, indem ich die Theilstriche nur immer in der Richtung des Uhrzeigers rechne. Jaune 6 entspricht dem 6ten Theilstrich nach Jaune 0 (daher dem 4ten Strich v o r Orange), Orange 2 ist der 2te Theilstrich von Orange gegen Rouge hin. Violet 0 bedeutet, dass der Zeiger auf Violet 0, d. i. am Endpunkte seiner Drehung steht. Steht der Index auf Jaune 0, so sind die beiden Felder: Blau und Gelb, bei Orange 0: Grünblau und Gelbroth (Orange); bei Rouge 0: Grüngelb und Rothblau (Purpur); und bei Violet 0: Gelbgrün und Violet. Es ist demnach bei der Drehung das obere Feld von Blau durch Grün in Gelb (Gelbgrün), das untere Feld von Gelb durch Roth und Purpur in Violet allmälig übergegangen. S o k a n n d u r c h D r e h u n g d e s I n d e x d e r

Farbenscala eine grosse Reihe von Farbentönen hervorgerufen und für jedes Farben-Paar kann anderseits durch Drehung des Index I der Saturationsscala eine grosse Menge von Nuancen bis zu Weiss hergestellt werden.

Wie viele Farbentöne und wie viele Nuancen eines jeden Farbentons man zu unterscheiden vermag, ist bei dem allmäligen Uebergange der Töne und Nuancen schwer zu sagen. Chibret behauptet: 2700! Das würden meine Augen nicht zu Stande bringen, aber es wurde schon einmal (pag. 13) erwähnt, dass farbentüchtige Augen durch Uebung eine ausserordentliche Fähigkeit in der Unterscheidung von Farbentönen und Nuancen zu erwerben im Stande sind.

Chibret's Apparat mit seiner parallel zur Axe geschnittenen Quarzplatte leistet viel mehr als die Apparate, deren Quarzplatte senkrecht zur Axe geschnitten sind, denn bei den letzteren kann man Nuancen (verschiedene Sättigungsgrade) der Farbenpaare nur dadurch herstellen, dass man verschieden dicke Platten nimmt und da sind die Farben: Roth und Grün, die man bei einer Dicke der Platte von 5, 10, 15 Millimeter erhält, und die je dicker die Platte, desto weisslicher werden, nicht dieselben, d. h. sie sind nicht durch dieselbe Farbenmischung entstanden. Rose's Farbenmesser, der nur eine einzige senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte (von 5 mm Dicke) enthält, ist daher kaum zu verwenden, trotz des Vorzugs seines zweiten, die gegenseitige Lichtsärke der beiden Bilder beeinflussenden Nicols, von dessen Verwendung auch Chibret spricht, wenngleich gerade jene Farben, die am häufigsten verwechselt werden, auch für den Farbenblinden gleiche Helligkeiten haben. Die Lösung der wichtigen Frage, die namentlich für erworbene Farbenblindheit von Bedeutung ist, bis zu welchem Grade der Sättigung Farben verwechselt werden, kann mit Chibret's Apparate, der uns die Nuancen von Weiss an bis zu einer relativ grossen Sättigung für jedes Farbenpaar liefert, unschwer gelöst werden.

Was aber im Allgemeinen den Werth derartiger Apparate, welche durch Interferenz linear- oder circular-polarisirter Lichtstrahlen und durch die Verwendung eines doppelbrechenden Körpers als Polariseurs oder Analyseurs dem Auge zwei sogenannte Complementär- oder Gegenfarben darbieten — für die

Bestimmung der Farbenblindheit anlangt, so ist auf den folgenden Unterschied zwischen derartigen Apparaten und dem Spectralapparat aufmerksam zu machen.

Wenn ich einem Farbenblinden gleichzeitig die rothe Kaliumlinie und die grüne Thalliumlinie oder etwa die gelbe Natriumlinie und die blauen Casiumlinien zum Vergleiche darbiete, so habe ich dabei Farben von einer ganz bestimmten Wellenlänge, also die einfachsten Farben, die überhaupt darstellbar sind, zur Probe gewählt. Wenn ich aber in einem Polarisationsapparate zwei Felder: Roth und Grün oder Gelb und Blau einstelle, so können bei einer bestimmten Plattendicke dem Farbentüchtigen diese Farben den Eindruck reiner Spectralfarben machen, aber thatsächlich ist jede dieser Farben aus einer gewissen Anzahl von Spectralfarben zusammengesetzt, so dass der dem Farbentüchtigen imponirende Farbenton nicht der ausschliessliche, sondern nur der überwiegende ist. Diese Farben sind also den Spectralfarben nicht vergleichbar und die Schlüsse, die man etwa auf das Wesen der Farbenblindheit aus Untersuchungen mit derartigen Apparaten ziehen würde, sind mit Vorsicht aufzunehmen.

---

§ 5. Der Simultancontrast.

Die Spectraluntersuchung lehrt, welche Farbenempfindungen die Strahlen verschiedener Brechbarkeit in dem Auge des zu Prüfenden hervorrufen. In den Polarisationsapparaten werden dem Auge 2 Felder complementärer (antagonistischer) Farben dargeboten, die durch objective Mischlichter gebildet sind.

Durch Versuche mit dem sogenannten Simultancontrast sind wir im Stande, die Kenntnisse über die Farbenempfindungen wesentlich zu erweitern. Denn so wie wir im Spectrum und in den Spectrallinien der Metalle Grundfarben und die Reihe der Farbentöne (mit Ausnahme der purpurigen) und in den Polarisationsapparaten in objectiver Weise die Complememtär- oder Gegenfarben kennen lernen, so sind andererseits die Versuche mit Simultancontrast geeignet, in subjectiver Weise zu zeigen, welche Grundfarben oder Farbentöne anta-

gonistisch sind, welche sich also bei gleichzeitiger Einwirkung auf die Netzhaut aufheben oder nach der andern Vorstellung als complementäre zu Weiss mischen.

1. Florcontrast.

Der einfachste, schönste, überraschendste Versuch, der für die Diagnose der sogenannten Farbenblindheit auch von hoher Bedeutung ist, ist der Seidenpapierversuch von H. Meyer (1855). Man bedient sich dazu des Heidelberger Farbenbuches (Julius Wettstein's Nachfolger, Heidelberg, 2 Mark). Dieses Büchlein, im bequemen Taschenformat, enthält eine Reihe (28) farbiger Blätter, zwischen je zweien ein Blättchen Seidenpapier (Florpapier). Die farbigen Blätter sind für Farbenprüfungen insofern gut verwendbar, als sie mit Ausnahme von dreien (1 Goldbraun, 2 Dunkelblau) nicht glänzen, die ganze Auswahl und Reihenfolge der Farben ist jedoch keine sehr glückliche. Es finden sich jedoch einzelne Blätter darunter, mit deren Hilfe der Seidenpapiercontrast in ausgezeichneter Weise hervorzurufen ist. Er wird erzeugt mit Hilfe eines Ringes aus grauem Pappendeckel. Zwei solcher Ringe, 5 mm breit (der Durchmesser des äusseren Kreises beträgt bei dem einen 58, bei dem anderen 48 mm), sind dem Büchlein beigegeben. Man schlage Blatt 2 des Buches auf, es ist dies ein lichtes Purpur (Rosa). Man lege einen der grauen Ringe oder auch beide (sie passen genau ineinander) auf das farbige Blatt. Ich sehe hierbei (wiewohl auch schon da für manche Augen die Contrastwirkung hervortritt) keine Aenderung an der Farbe des Ringes. Nun aber bedecke man das Rosapapier, auf dem der Ring liegt, mit dem Blatt Florpapier, das vor jedem farbigen Blatt eingeschaltet ist — und sofort erscheint auf dem schwach rosa durchschimmernden Grunde die Farbe des grauen Ringes in ein prächtiges Dunkelgrün geändert. Bei Blatt 1 (gleichfalls Rosa) ist die Contrastfarbe auch dunkelgrün, doch nicht so schön; bei Blatt 3 und 4, Violet und Purpur: Grüngelb und Lichtgrün. Im Dunkelpurpur als Constrastfarbe erscheint dagegen der Ring, wenn man ein Lichtgrün (Blatt 19, es ist gut die farbigen Blätter auf dem sie deckenden Florpapier zu numeriren) zum Versuche verwendet. Die relativ reinste gelbe Contrastfarbe

erhält man, wenn man das Blau von Blatt 8 zu Grunde legt; dagegen eine dunkelblaue Gegenfarbe, wenn man das gelbe Blatt 20 benutzt. Bei Prüfung der übrigen Blätter des Farbenbuches sind schöne Contrastfarben nicht hervorzurufen, doch genügen die Contraste auf Grün, Blau, Gelb, Violet, Rosa, Purpur, die sich als Purpur, Gelb, Blau, Grüngelb, Dunkelgrün, Lichtgrün darstellen, um sich von der Farbentüchtigkeit oder Untüchtigkeit des Auges zu überzeugen.

Pflüger hat (1878) graue Buchstaben auf farbiges Papier gedruckt. Wird das Blatt mit Florpapier gedeckt, erscheinen die grauen Buchstaben in der Contrastfarbe des Grundes.

2. Spiegelcontrast.

Ein zweiter Versuch, weniger einfach, wenngleich auch prächtig, ist der Spiegelcontrastversuch, am besten nach der Angabe des Italieners Ragona Scina (1847) anzustellen. Man nimmt einen Bogen weissen Briefpapiers (Octavformat), breitet denselben auseinander und klebt ihn, damit er Halt gewinne, auf einen dünnen Pappendeckel, den man dann in der Richtung des Buges des Papierbogens wieder zusammenbricht, so dass die beiden Blätter (Fig. 10) CA und CB in einen rechten Winkel gegen einander gestellt werden können. Sowohl auf Blatt CA, als auf Blatt CB klebt man ein quadratisches Stück schwarzen matten Papiers, oder besser schwarzen Sammets (Cohn). Die Quadrate, deren Seite 20 mm beträgt, stehen vom Buge C ungleich weit ab, und zwar a 20, b 50 mm. Halte ich jetzt, am Fenster stehend, ein rechteckiges Stück rothen Glases CD so zwischen die beiden Blätter, dass CD den rechten Winkel BCA halbirt und blicke ich von oben her in der Richtung EF auf das rothe Glas, so sehe ich auf dem roth beleuchteten Theile des Blattes CA zwei Quadrate nebeneinander, von welchen, indem mein Blick sich bald auf a, bald auf b' richtet, das Quadrat b' in einer intensiv rothen Farbe, das Quadrat a dagegen dunkelbläulichgrün erscheint. In mein bei E befindliches Auge fällt rothes Licht vom roth-

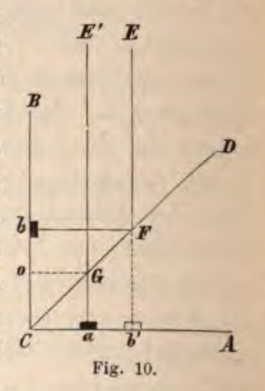


Fig. 10.

beleuchteten Blatt CA und andererseits weisses Licht, das vom Blatt CB an der Vorderfläche des Glases CD in der Richtung FE zurückgeworfen wird. Nur von dem schwarzen Quadrat b wird kein weisses Licht reflectirt; jene Stelle der Netzhaut, auf welcher das Bild des Quadrats b liegt, wird daher nur von rothem Lichte getroffen und es entsteht daher an dieser Stelle ein intensiverer Farbeneindruck, die Farbe ist gesättigter, als an den übrigen Stellen der Netzhaut. Wir sehen die Objecte immer in der letzten Richtung des einfallenden Lichts. Daher wird das Bild des Quadrats b in der Verlängerung von EF bei b' und wie eben erwähnt, in intensiv rother Farbe auf röthlichem Grunde erscheinen. Von dem schwarzen Quadrat a geht kein rothes Licht aus, daher fällt, wenn ich in der Richtung von E'a nach a blicke, in mein Auge nur das weisse Licht, das von o nach G geworfen und von G nach E' reflectirt wird. Man sollte also, wie es gewöhnlich heisst, das Quadrat a weiss sehen, richtiger grau, da das Schwarz von a sich mit dem Weiss von o mischt; man sieht es aber weder schwarz, noch grau, sondern bei richtiger Anstellung des Versuches in der Gegenfarbe jenes Roth, mit welchem das Glas gefärbt ist. Bewegt man das Blatt BC ein wenig hin und her, so verschiebt sich das Spiegelbild von b, also das in der Farbe des Grundes gefärbte Quadrat b', während das antagonistisch gefärbte a unbeweglich bleibt.

Mit den farbigen Gläsern, die mir zu Gebote stehen (die Farben sind bestimmt nach der durch die Gläser bewirkten Färbung des Tageslichts) sehe ich

bei Glasfarbe:	das „Grund"-Quadrat b':	das „Contrast"-Quadrat a:
1) Rosa	Rosa	Grün
2) Roth	Roth	Bläulichgrün
3) Grün	Grün	Dunkelpurpur
4) Blau	Blau	Hellbraungelb
5) Gelb	Gelb	Dunkelblau

Um, da das Bläuliche im Bläulichgrün bei Probe 2 leicht übersehen wird, den Unterschied zwischen der Constrastfarbe von 1 und 2 deutlich kenntlich, und ebenso, um das vom Schwarz kaum unterscheidbare Blau bei 5 deutlich hervortretend zu machen, empfehle ich Folgendes. Das farbige Glas (CD) hat nur eine Breite von circa 2 cm. Auf dem horizontal liegenden Blatt Papier (CA) ist also Platz genug, um während CD unter einem

Winkel von 45° gegen CA gehalten wird, ausserhalb des Bereiches von CD ein farbiges Glas auf CA aufzulegen. Bei Versuch 1 und 2 legt man ein grünes Glas auf die weisse Fläche des Papiers, bei Versuch 5 ein gelbes. Blickt man nun bei den ersten Versuchen abwechselnd auf die Quadrate und das grüne Glas, so bleibt in Versuch 1 das Contrastquadrat grün, in Versuch 2 wird aber sofort das Blau deutlich und die Farbe von a ändert sich in ein gesättigtes Blaugrün. Indem man bei Versuch 5 ein gelbes Glas hinlegt und abwechselnd auf die Quadrate und das gelbe Glas blickt, tritt die Farbe im Contrastquadrate rasch deutlich hervor, als die eines „schön" dunkelblauen Sammets.

3. Schattenprobe.

Die Erzeugung der „Contrast"-Farben mit Hilfe der farbigen Schatten ist complicirter, als der Florpapierversuch, der an Einfachheit nicht mehr übertroffen werden kann. Construirt man dann gar noch eigene Apparate, um die farbigen Schatten zu zeigen, so complicirt man den Versuch noch mehr in unnöthigster Weise. Unerfindlich ist mir auch, wesshalb man in neuerer Zeit statt der zwei Lichtquellen, die man, wie wir aus den physiologischen Vorlesungen wissen, zur Anstellung der Versuche verwendet, sich auf eine beschränken wollte, d. h. die zweite durch Reflexion des Lichts an den Wänden des Zimmers, an der Hand- oder Antlitzfläche u. s. w. unbewusst herstellte. Bei Verwendung zweier Lichtquellen hat man nicht blos den Vortheil, die inducirte (Contrast-, Gegen-)Farbe deutlicher hervortreten, sondern auch die inducirende (Grund-)Farbe in ausgezeichneter Weise ausgesprochen zu sehen, was zum Zwecke eines leichten Vergleichs zwischen inducirender und inducirter Farbe angezeigt erscheint. Ich kann auch den Versuch von Ragona Scina blos mit Einem Blatt Papier, auf dem sich ein schwarzes Quadrat befindet, machen, wenn ich zum Fenster tretend das Blatt horizontal und das farbige Glas unter 45° gegen das Papier halte. Sofort erscheint das schwarze Quadrat in der Gegenfarbe. Das zum Gelingen des Versuchs nöthige weisse Licht wird von dem seitlich befindlichen weissen Fensterladen geliefert, indem es an der oberen Fläche des Glases gespiegelt, gleichzeitig mit der Farbe des Glases in mein Auge fällt. Aber so wie der genannte Versuch viel prägnanter wird,

wenn man das „Grund“- und das „Contrast“-Quadrat neben einander stehen hat, so gilt dies auch von den farbigen Schatten.

Den Schattenversuch stellt man am besten so an. Auf einem an der Wand stehenden Tisch wird ein auf Pappendeckel geklebter Bogen weissen Papiers, an die Wand lehnend, vertical aufgestellt. In einem Abstande von 25 cm vom Papier stehen die beiden Lichtquellen, von denen die eine durch eine hellbrennende Petroleumflamme, die zweite (20 cm seitlich von ihr und in gleicher Höhe mit ihr stehend) durch die Flamme einer Stearinkerze dargestellt wird. Das Zimmer ist verfinstert. Unmittelbar vor die Petroleumflamme (zwischen ihr und dem Papier) wird mit der einen Hand das farbige Object gehalten, während die andere Hand einen Bleistift von 1 cm Dicke in einem Abstand von 2 cm vor dem Papierbogen vertical so aufstellt, dass er sich in gleicher Distanz von beiden Lichtquellen befindet. Nunmehr erscheinen zwei Schatten, parallel und vertical neben einander, auf dem Papier. Der Bogen AB (Fig. 11) werde beleuchtet durch das weisse Licht der Kerzenflamme W (eigentlich ist W rothgelb, kann aber im Vergleich zu der Flamme R als weiss angesehen werden), sowie durch das rothe Licht der durch eine Fuchsinlösung hindurchgehenden Strahlen der Flamme R. Der Papierbogen ist demnach jetzt in eine helle Nuance des Roth getaucht. Durch den Bleistift C wird das Licht W von r abgehalten, r wird daher nur von R beleuchtet und darum erscheint der Schatten r als ein gesättigtes Roth auf dem weissröthlichen Grunde. Andererseits wird durch C das rothe Licht der Flamme R von gr abgeschnitten; auf gr fällt nur das weisse Licht von W; der Schatten gr sollte daher weiss erscheinen, erscheint aber in der Gegenfarbe des Roth, d. i. Grün. Als farbige Objecte nimmt man gewöhnlich farbige Gläser. Diese lassen aber nicht blos die Farbe des Glases, sondern daneben auch noch Strahlen von anderer Brechbarkeit durch. Um den „Grund“- und den „Contrast“-Schatten möglichst charakteristisch hervortreten zu lassen, scheint es erwünscht, die eine Flamme durch möglichst gleichfarbiges Licht

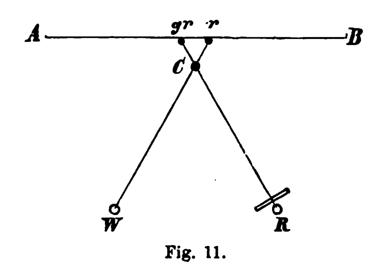


Fig. 11.

zu färben. Dazu kann man sich für gewisse Farben farbiger (in geschliffene Gläser von rechteckigem Durchschnitt eingeschlossener) Flüssigkeiten und zwar für Roth einer Fuchsinlösung, für Grün einer Lösung von Nickelchlorür und für Blau einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak bedienen. Allein die Versuche haben mich gelehrt, dass für diese Farben ein rothes, grünes und blaues Glas besser zu verwerthen ist. Ich besitze wenigstens solche Gläser, die die Contrastschatten: Grün, Roth und Gelb in schönster Weise zeigen. Was die Herstellung eines gelben Grund- und eines blauen Contrastschattens anlangt, so habe ich keine gelbe Lösung gefunden, bei deren Anwendung ein blauer Contrastschatten (freilich war auch kein gelber Grundschatten da) hervorgetreten wäre. Die gelben Lösungen lassen immer noch viel rothes Licht durch, so dass der Grundschatten Roth und der Gegenschatten Grün wird. Unter den vielen gelben Gläsern, mit denen ich experimentirte, habe ich aber doch Ein Stück, welches einen deutlich, wenn auch nicht reingelben Grund- und einen deutlich, wenn auch nicht reinblauen Gegenschatten hervorruft. Es ist übrigens bekannt, dass man den blauen Gegenschatten auch ohne Anwendung eines farbigen Objectes dadurch erzeugen kann, dass man als die beiden Lichtquellen: Tageslicht und Kerzenlicht verwendet. Schliesse ich in meinem Zimmer den Fensterladen, so dass nur ein schmaler Spalt geöffnet bleibt und entferne die Petroleumlampe, dann fällt von der Kerze gelbrothes Licht, durch den Ladenspalt weisses Tageslicht ein. Den Grundschatten (da wo das Tageslicht durch den Stift abgehalten wird) sehe ich jetzt schön gelb, den Contrastschatten dunkelblau, allerdings so dunkel, dass er für schwarz gehalten werden kann. Am schönsten sehe ich den blauen Schatten, wenn ich einerseits Tageslicht durch den Ladenspalt eintreten lasse, andererseits die hellbrennende Petroleumlampe, vor die ich das gelbe Glas halte, als zweite Lichtquelle verwende. Nun erscheint ein schön indigoblauer Gegenschatten, während der Grundschatten, zu schwach, auf dem Grunde verschwindet. Bemerken will ich: sowie ich die Flamme herabdrehe, tritt zwar der Grundschatten sofort auf, aber derselbe ist jetzt roth und der Gegenschatten ändert sofort seine Farbe aus Blau in Grün (Grünblau). Darauf basirt ein schöner Versuch mit Farbenblinden.

Den blauen Contrastschatten hat übrigens Jeder von uns sehr häufig zu beobachten Gelegenheit. Geht man bei Vollmondschein durch eine mit Gasflammen beleuchtete Strasse, so sieht man, sobald der Mond und im Momente auch eine Gasflamme im Rücken stehen, zwei Schatten seiner selbst, den einen, der beim Weiterschreiten stets die gleiche Grösse beibehält, von gelblicher Färbung, während der zweite, der bei dem Entfernen von der Gasflamme stets grössere Dimensionen annimmt, eine schön dunkelblaue Farbe zeigt. Dieser letztere Schatten, immer riesigere Dimensionen annehmend, verschwindet endlich, bis man in den Schatten der nächsten Gasflamme tritt, worauf der blaue Schatten wieder auftaucht, um bei einer bestimmten Grösse den intensivsten farbigen Eindruck zu machen und später, immer grösser werdend, wieder zu verschwinden. Die beiden Lichtquellen für diesen Schattenversuch werden geliefert von dem weissen Lichte des Mondes und dem gelben Lichte der Gasflamme. Da, wo der Mondschatten hinfällt, hat nur das gelbe Gaslicht Zutritt; der in seiner Grösse unveränderliche (Mond-) Schatten ist daher gelblich. Dahin aber, wo die Gasflamme ihren, bei dem Entfernen von derselben immer grösser werdenden Schatten wirft, fällt nur das weisse Mondlicht, das durch Contrast blau erscheint.

Ich fasse das vorher Gesagte zusammen: stehe ich vor dem Blatt Papier und steht die Petroleumflamme zu meiner Rechten, das Kerzenlicht zur Linken, dann sieht jedes farbentüchtige Auge

bei Glas, vor die Petroleumflamme gehalten:	Grundschatten rechts:	Contrastschatten links:
Roth	Roth	Grün
Grün	Grün	Roth
Blau	Blau	Gelb
Gelb	Gelblich	Bläulich.

Bei den drei ersten Gläsern sind die Farben der beiden Schatten prächtig, kein farbentüchtiges Auge kann die Gegenschatten anders bezeichnen als wie Grün, Roth, Gelb. Der blaue Gegenschatten ist zwar unwiderlegbar bläulich, schön reinblau tritt er aber erst bei der früher erwähnten Versuchsmodification hervor.

Die Gegenfarben bei den genannten Versuchen: dem Seidenpapiercontrastversuch, dem Spiegelcontrastversuch und dem Schattencontrastversuch sind so lebhaft, dass das farbentüchtige Auge sie nicht blos richtig benennen, sondern auch leicht durch objectiv gefärbte Objecte characterisiren wird. Für den ersten der Versuche habe ich aus mattem Papier verschiedenster Farbe Ringe ausgeschnitten ganz von der Form des grauen Rings, der in der inducirten Farbe erscheint. Es ist leicht aus diesen Ringen jene herauszusuchen, die wenn auch nicht die ganz gleiche Farbennuance, so doch den gleichen Farbenton haben, wie der in der Contrastfarbe sich bietende graue Ring. Beim Spiegelcontrastversuch kann man die Farben des Grund- und des Contrastquadrats durch farbige Papiere, Wollen oder Pulver erörtern lassen; und ein gleiches ist, wenngleich manche Farben im gelben Lichte der künstlichen Lichtquellen sich ändern, doch im Grossen und Ganzen auch beim Schattencontrastversuch möglich.

---

§ 6. Farbige Gläser. Künstliche Farbenblindheit.

Farbige Papiere, farbige Wollen, farbige Pulver können auch als solche zur Farbenprüfung verwendet werden. Das farbentüchtige Auge wird die Farben richtig benennen und die Proben richtig sortiren, höchstens zu einer Grundfarbe nahestehende Farbentöne legen. Niemals wird aber ein solches Auge einer Grundfarbe eine andere Grundfarbe oder einen Farbenton, in welchem die zweite Grundfarbe über die vorgelegte überwiegt, zugesellen. Auch farbige Gläser kann man in Anwendung ziehen, indem man prüft, in welcher Farbe Tages- und Lampenlicht durch sie erscheint.

Höchst interessant ist es für das farbentüchtige Auge durch ein farbiges Glas nach dem Spectrum oder nach farbigen Objecten zu blicken. Ich empfehle hierzu, weil am leichtesten zugänglich, den schon wiederholt genannten Index von Radde's internationaler Farbentafel. Blicke ich nach diesem, während er durch Tageslicht hell beleuchtet wird, durch mein rothes Glas, so sehe ich die Töne 1 bis 6 (Roth und Orange) in einem immer weisser werdenden

Röthlichweiss, bis ich bei 7 (Gelb) einen beinahe reinweissen Streifen sehe; dann beginnt bei 8 (Gelbgrün) ein Grauviolet, das im gleichen Farbenton, nur immer dunkler werdend, durch alle Töne von Gelbgrün, Grüngelb, Grün, Grünblau, Blaugrün sich hindurcherstreckt, bis es bei 19 (Blau) beinahe ganz schwarz wird, um dann im Violet, Purpur und Carmin bis 29 wieder lichter und immer lichter, endlich bei 30, dem letzten Uebergang von Carmin zu Zinnober (1) fast weiss zu werden. Gewisse Farbentöne, wie z. B. Gelbgrün und Purpur (10 und 26) erscheinen mir nunmehr nahezu identisch, sie erscheinen nahezu als gleiche Nuancen des Violet. Wer auch nur einmal einen solchen Versuch angestellt hat, dem werden Perversionen des Farbensinns nicht mehr wunderbar erscheinen. Das Phänomen erklärt sich dadurch, dass das rothe Glas nur rothes, gelbes und sehr wenig blaues Licht durchlässt; daher erscheint Roth bis Gelb hell, Gelbgrün bis Carmin durch das rothe und blaue Licht, das von den Pigmentfarben (die ja nicht rein sind) ausgestrahlt wird, grau violet; Blau am dunkelsten, da es am wenigsten Roth enthält und das Glas nur sehr wenig Blau passiren lässt.

Wenn derartige Zustände, wie sie jedes Auge durch Vorsetzen eines farbigen Glases hervorrufen kann, selbständig vorkommen, so wird man sie dadurch zu erkennen vermögen, dass man farbige Felder in verschiedenen Farbentönen herstellt, dass man verschieden farbige Wollmuster in Reihen ordnet, dass man über eine Wollspule einzelne Fäden andersfarbiger Wolle hinüberführt, dass man auf farbigem Grunde Buchstaben in anderen Farben druckt, oder Grund und Buchstaben in verschiedenen Farben stickt. Wenn z. B. Jemanden ein Gelbgrün und ein Purpur in solcher Art gleich erschiene, wie mir durch ein rothes Glas, so würde er keinen Unterschied finden zwischen zwei farbigen Feldern, die in diesen Farben hergestellt wären; er würde, wenn ich Wollproben von gelbgrüner und Purpurfarbe bestimmter Nuance auf Canevas befestigte, die Verschiedenheit der Farben nicht merken; er würde nicht sehen, dass Fäden andersfarbiger Wolle über eine Wollspule hinlaufen, wenn Faden und Spule die genannten zwei Farben in gleicher Helligkeit trügen; er würde endlich Buchstaben nicht lesen, die mit gleicher Helligkeit Gelbgrün in Purpur (oder vice versa) gedruckt oder gestickt wären.

Im Spectrum würde dieser Farbenblinde allerdings nicht zwei Farben finden, die sich gleichen, da zwar das Gelbgrün, aber nicht das Purpur im Spectrum enthalten ist. Im Polarisationsapparate aber würde Derselbe zwei Felder: Gelbgrün und Purpur (Blauroth) als „complementär“ finden und daher ebenso verwechseln können, wie ich die Töne 10 und 26 von Radde's Index verwechsle, wenn ich sie durch mein rothes Glas ansehe. Aber nicht deshalb etwa verwechsle ich die zwei Farben, weil sie beide farblos (grau), sondern weil sie beide in derselben Farbe (Violet) erscheinen. Es wäre daher ganz und gar irrig zu glauben, dass wenn Jemand im Polarisationsapparate die beiden aus Mischfarben bestehenden Felder gleichfarbig sieht, dies deshalb geschieht, weil diese Felder „complementär“ gefärbt sind und weil es eine Eigenschaft des Farbenblinden ist, die beiden complementären (antogonistischen) Farben grau zu sehen. Ein Farbenblinder sieht Farben gleich, von denen kein Mensch behaupten wird, dass sie complementär sind; sieht er dann auch Farben gleich, die als Gegenfarben gelten, so folgt keineswegs, dass dies deshalb geschieht, weil er die beiden Farben überhaupt nicht empfindet und deshalb beide Male grau sieht, sondern es kann auch in diesem Falle der Grund für die Verwechslung darin liegen, dass die beiden Gegenfarben den gleichen farbigen Eindruck hervorrufen.

---

§ 7. Der Farbenkreisel.

Eine eigene Art der Prüfung des Farbensinns ist jene mit dem Farbenkreisel. Wenn ich durch eine optische Verrichtung z. B. das Orange des Sonnenspectrums mit dem Cyanblau des Sonnenspectrums mische und das gemischte Licht mir weiss erscheint, so habe ich ebenso eine objective Mischung der Farben vorgenommen, als wenn ich bei einem Versuche, wie er pag. 50 Fig. 10 beschrieben ist, z. B. ein blaues Blatt Papier BC unter rechten Winkel gegen ein rothes Blatt Papier CA stelle, zwischen beide Blätter eine durchsichtige Glasplatte CD halte und nun von oben durch die Platte nach dem rothen Papier sehe. Hiebei gelangt in der Richtung b'E in mein Auge das rothe Licht,

das vom Punkte b′ aus anstandslos die Platte CD passirte, und in derselben Richtung FE das blaue Licht, das vom Punkte b in der Richtung bF auf CD fällt und in F nach E reflectirt wird. Auch hier ist die Mischung des Lichts eine objective, da in der Richtung FE die rothen und blauen Aetherwellen sich mischen.

Wenn ich im ersten Falle (Mischung von Spectral-Orange und Spectral-Cyanblau) Weiss und im zweiten Falle (Mischung von Roth und Blau) Purpur sehe, so kann dies daher rühren, dass die betreffenden Aetherwellen sich ehe sie die Netzhaut treffen, in einer solchen Weise zusammensetzen, dass die Netzhaut, von ihnen getroffen, mit der Weiss-, resp. Purpur-Empfindung reagirt (vergl. pag. 4).

Wenn ich aber dieselben Farben am Farbenkreisel mische, so schlage ich dabei ein ganz anderes Verfahren ein. Hier gelangen die Aetherwellen jeder Farbe gesondert zur Netzhaut; hier kann keine objective Zusammensetzung der Aetherwellen erfolgen und wenn ich trotzdem die Mischfarbe sehe, so kann dies nur daher rühren, dass die Netzhauterregungen sich mischen. Wenn ich z. B. auf einer Scheibe einen rothen und einen blauen Sector anbringe und diese Scheibe in rasche Rotation versetze, so fällt in einem bestimmten Momente rothes Licht in mein Auge. Es entsteht der Roth-Eindruck, der eine bestimmte Zeit, nachdem das erregende Roth verschwunden, etwa 0,34 Secunde persistirt. Im nächsten Momente, zur Zeit da der Roth-Eindruck noch persistirt, fällt von der rasch rotirenden Scheibe blaues Licht auf dieselbe Netzhautstelle, auf der die Rotherregung noch nicht erloschen ist. Auf diese Art wird dieselbe Netzhautstelle gleichzeitig durch Roth und Blau erregt und durch diese gleichzeitigen Erregungen wird die Empfindung des Purpur erzeugt, sowie aus den Erregungen, die ich in gleicher Weise für Gelb und Blau simultan hervorrufe, die Weiss-Empfindung resultirt. Die Farbenmischung im Farbenkreisel hat also mit der objectiven Mischung von Aetherwellen nichts zu thun; sie ist vielmehr eine subjective Mischung der Erregungen der Netzhaut.

Mit Hilfe solcher rasch rotirender Scheiben, welche nach v. Helmholtz Muschenbroek (1760) zuerst erwähnt, stellt man nun sogenannte Farbengleichungen her.

Wenn man z. B. von gewissen farbigen Papieren Roth, Grün und Blau nimmt, so wird man bei einer bestimmten Grösse der drei farbigen Sectoren die rasch rotirende Scheibe Grau sehen. Damit man nun dieses Grau näher, d. h. durch ein aus Weiss und Schwarz gewonnenes Grau definiren könne, behält man das Centrum (oder die Peripherie) der Scheibe für eine durch weisses und schwarzes Papier in Sectoren verschiedener Grösse zu bildende Zone vor. Die Scheibe enthält also einen peripheren (oder centralen), aus farbigen Sectorenabschnitten bestehenden Ring und eine centrale (oder pheriphere), aus Schwarz und Weiss zusammensetzbare Zone. Indem man nun durch Aenderung der Sectorengrössen empirisch feststellt, wie viel Grade der schwarze und wie viele der weisse Sector haben muss, damit das bei der Rotation aus Weiss und Schwarz entstehende Grau identisch sei mit jenem Grau, das durch Mischung der die andern Scheibenzone constituirenden Farben zu Stande kommt, erhält man eine **Farbengleichung**.

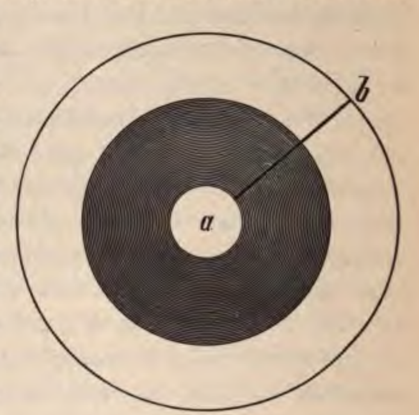


Fig. 12.

Eine solche Gleichung ist z. B. nach Aubert (natürlich für bestimmtes rothes, blaues, grünes, schwarzes und weisses Papier): 165° Roth + 73° Blau + 122° Grün = 100° Weiss + 260° Schwarz, d. h. wenn von den 360 Graden des peripheren Ringes 165 Grade durch rothes, 73 durch blaues und 122 durch grünes Papier ausgefüllt werden, so erhält man bei der Rotation der Scheibe ein Grau, welches identisch ist mit einem Grau, das die innere Kreisfläche bei der Rotation zeigt, wenn diese Kreisfläche aus einem weissen Sector von 100° und einem schwarzen von 260° zusammengesetzt wird.

Ich selbst erhalte für mein Auge wiederum für ein bestimmtes rothes, grünes, blaues, schwarzes und weisses Papier, folgende Gleichung:

163° Roth + 84.5° Blau + 112.5° Grün = 88° Weiss + 272° Schwarz.

Man kann auch peripher und central verschiedene Farben anbringen und untersuchen, durch welche Farbenzusammenstellungen man die gleichen Mischfarben erhält.

Ueber die praktische Ausführung derartiger Versuche ist folgendes zu bemerken: Man verwendet zu den Versuchen gegenwärtig in der Regel das dünne Blumenpapier, von welchem Scheiben in verschiedenen Farben mit einem centralen Loche a (Fig. 12) hergestellt werden. Die Scheiben, mit denen man den Versuch anstellen will, schneidet man in der Richtung eines Radius auf: so dass ein Schlitz in der Richtung ab entsteht, durch welchen man nun das eine Schlitzende einer zweiten solchen unter die erste gelegten Scheibe hindurchziehen kann (Fig. 13). Indem ich cd anfasse und immer weiter hervorziehe, schiebe ich einen immer grössern Sector cdef des untern Farbenblattes das z. B. grün sei, über das obere Farbenblatt etwa von rother Farbe, so dass dieses in demselben Masse an Sichtbarkeit verliert, als das untere Blatt an Sichtbarkeit zunimmt.

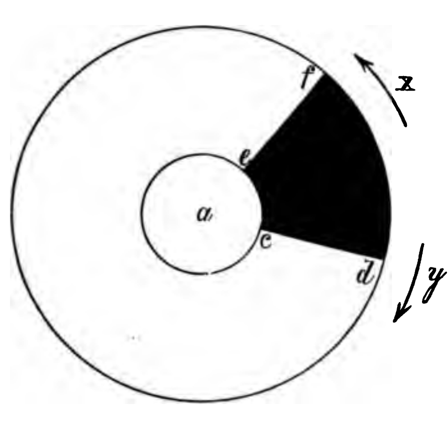


Fig. 13.

Ich kann nun unter das zweite Blatt ein drittes geschlitztes Farbenblatt z. B. ein blaues legen, das ich dann bei cd über das oberste rothe Blatt hervor- und hinüberziehe. So kann ich von den 360° der Kreisfläche zwei oder mehrere Farben Sectoren von bestimmter Grösse einnehmen lassen.

Man hat von derartigen farbigen Scheiben zweierlei Grössen, so dass, wenn man die Centren der Kreisflächen zusammenfallen lässt (Fig. 12), einerseits die peripheren Zonen, welche von den grösseren Farbenscheiben übrig bleiben, anderseits die Sectoren der centralen Kreisfläche zur Herstellung der Farbengleichung verwendet werden. Zuerst die grossen, dann die kleinen Scheiben, die ja alle im Centrum ein Loch haben, werden auf die Axe des Kreisels gesteckt und auf der Unterlage festgeschraubt.

Mit Hilfe eines doppelten Theilkreises, den man auf der Scheibe auflegt, kann die Grösse der einzelnen centralen und peripheren Sectoren in Graden abgelesen werden.

Verwendet man dünne Blumenpapiere, so darf der Kreisel nur in der Richtung des Pleils x (Fig. 13) rotirt werden. Wird die Scheibe in der Richtung des Pfeils y rotirt, so hört man bei einer bestimmten Beschleunigung der Rotation ein immer stärker werdendes Knistern, Flattern und Rauschen. Die dünnen Papiere werden in dem erzeugten Winde bei ihren Schlitzen (cd, ef) von der Unterlage abgehoben und umgebogen, ein Umstand, der jede Untersuchung unmöglich macht. Bei den dicken Pappscheiben, die früher in Verwendung waren, ist die Rotationsrichtung der

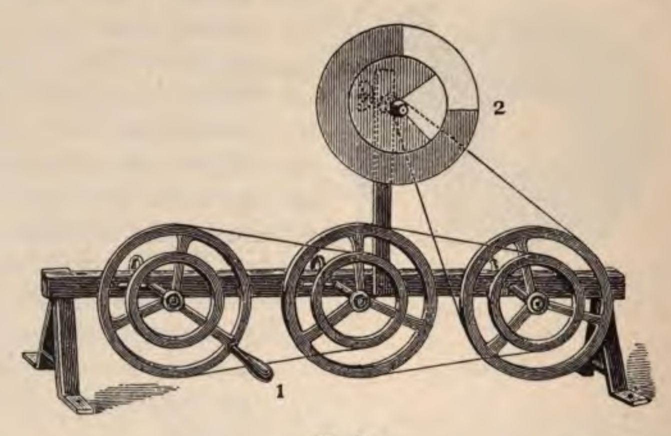


Fig. 14.

Scheibe allerdings gleichgiltig, aber dagegen besteht, wenn man mehrere solche Scheiben über einander lagert, eine wesentliche Niveauverschiedenheit der sichtbaren Sectoren — eine Niveauverschiedenheit, die bei Verwendung der dünnen Blumenpapiere so gut wie entfällt.

Fig. 14 zeigt in verkleinertem Massstabe einen von R. Rothe (Prag-Wenzelsbad, 17 fl) ganz aus Eisen construirten Farbenkreisel von 68 cm Länge und 38 cm Höhe. Der Apparat bedarf keiner besonderen Erklärung. Dreht man rasch die Kurbel (1), so erreicht man in der Secunde 100 Umdrehungen des Farbenkreisels (2). In diesem Apparate steht die Versuchsscheibe vertical. Von einem neuern complicirten Apparate, den Hering

(1889) zur Untersuchung des Farbensinns der excentrischen Netzhautstellen construiren liess (R. Rothe, 135 Mark) kann man den Tisch mit dem darauf befestigten horizontalen Kreisel zur Herstellung der gewöhnlichen Farbengleichungen verwenden. Dieser letztere Kreisel kann sowohl durch eine Kurbel, die ein Gehilfe drehen muss, als auch durch einen Tretapparat (analog dem einer Nähmaschine) von demjenigen, dessen Farbensinn geprüft werden soll, in Rotation versetzt werden.

Wir werden später sehen, wie man solche Kreisel zur Diagnose der Farbenblindheit verwendet hat.

---

§ 8. Xanthokyanopie.

Wir sind jetzt soweit, um an die Frage heranzugehen, wie Störungen des Farbensinns zu entdecken sind. Diese Frage kann jedoch ohne eine Darstellung dieser Störungen nicht in gehöriger Weise erörtert werden. Die sog. Farbenblindheit ist entweder angeboren, oder sie ist die Folge gewisser Erkrankungen des Hirns oder Auges. Wir besprechen zunächst

Die angeborene Farbenblindheit.

Das Sonnenspectrum ist für das farbentüchtige Auge, wie wir gesehen haben, ein polychromatisches. Die Abweichungen könnten nun nach den bisherigen Erfahrungen die sein, dass das Spectrum dichromatisch, monochromatisch oder achromatisch wird, d. h. die Störung des Farbensinns kann darin bestehen, dass das Auge ausser Schwarz und Weiss nur noch zwei Farben, oder blos eine Farbe oder gar keine Farbe sieht. Im letztern Falle, beim achromatischen System, könnten im Spectrum nur Abstufungen der schwarzweissen Reihe gesehen werden — und das Vorkommen einer solchen wahren Farbenblindheit ist auch nicht zu bezweifeln. Dass es ein monochromatisches System gibt, d. h. dass es Augen gibt, welche das Spectrum nicht schwarzweiss, sondern farbig, aber nur in Einer Farbe sehen, wäre möglich. Allerdings sind wir geneigt anzunehmen, dass wo Farbe ist, auch Gegenfarbe sein muss, und daher ein monochromatisches Spectrum nur insofern denk-

bar wäre, als die Gegenfarbe ausserhalb des Spectrums läge. Aber aus physiologischen Verhältnissen ist auf pathologische nicht mit Sicherheit zu schliessen, wie schon das dichromatische Spectrum zeigt.

A. Das dichromatische Spectrum

lenkt unsere ganze Aufmerksamkeit auf sich, denn die gewöhnliche Farbenblindheit beruht auf der Umwandlung des polychromatischen Spectrums in ein dichromatisches. Zwei Formen dieser Dichromasie werden beschrieben; die eine wie die andere der Formen besteht darin, dass das Spectrum statt der vier Grundfarben und allen möglichen Farbentönen, nur zwei Grundfarben, aber gar keine Farbentöne zeigt. Die beiden Grundfarben sind bei der einen Form Gelb und Blau, bei der anderen (die ich aus eigener Erfahrung nicht kenne) sollen sie Roth und Grün sein. Jene Form der Dichromasie, bei welcher das Spectrum nur aus den beiden Farben Gelb und Blau zusammengesetzt ist, ist in jedem Falle die bei weitem häufigere. Sie wird als Rothblindheit oder als Grünblindheit oder als Roth-Grünblindheit beschrieben. Die Ausdrücke bedürfen aber eigentlich einer Correctur. Der richtige Ausdruck für die Anomalie wäre (nur ist das Wort nicht deutsch) Gelbblausichtigkeit, mit einer griechischen Wortbildung könnte man dafür Xanthokyanopie setzen.

1) Die Xanthokyanopie (Gelbblausichtigkeit).

(Rothblindheit, Grünblindheit, Roth-Grünblindheit.)
(Anerythropsie, Achloropsie, Anerythrochloropsie.)

Die Erscheinungen derselben zu erklären, ist keine der bisher diesbezüglich aufgestellten Theorien, über die wir zum Schlusse handeln wollen, im Stande. Wir stellen hier auch keine Theorie auf, sondern constatiren nur Thatsachen. Die Hauptthatsache ist die: Sowohl das rothe, als das grüne Licht ruft in derartigen Augen eine sehr entschieden farbige Empfindung hervor, aber die gänzliche Abweichung von dem physiologischen Verhalten liegt darin, dass Roth und Grün aufgehört haben, Gegenfarben zu sein, dass sie vielmehr Nebenfarben geworden sind und einer der zwei erhaltenen Grundfarben, dem Gelb, coordinirt. Die unzweifelhafte Thatsache lehrt, dass die Netz-

haut von allen Strahlen des Spectrums, welche vom Roth bis zu einem gewissen Grünblau reichen, in einer und derselben Farbe, und zwar in Gelb erregt wird, so zwar, dass derartige Augen im Gelb die hellste Empfindung des Gelb haben, in den anderen Theilen dieser Spectrumshälfte jedoch ein dunkleres Gelb sehen. Roth, Grün und Gelb sind daher für derartige Netzhäute qualitativ vollkommen identisch und daraus folgt auch, dass das Spectrum nur aus zwei Theilen bestehen kann, einem gelben und einem blauen. Kein Auge dieser Kategorie kann Blau von Violett unterscheiden, indem das Violett durch eine geringe Beimischung von Roth zu Blau entsteht. Roth hat aber für das „farbenblinde" Auge die Qualität des Gelb und Gelb ist auch für dieses Auge die Gegenfarbe von Blau. Das Roth im Violett wird einen Theil des Blau vernichten, das übrig bleibende Blau des Violett wird aber eine vom reinen Blau im Farbenton nicht unterscheidbare blaue Farbenempfindung hervorrufen. Wenn dies richtig ist, so muss durch weitere Zumischung von Roth zu Blau schliesslich das Roth überwiegen und eine bestimmte Purpurfarbe einem solchen Auge wieder Gelb erscheinen.

Es wird daher, da sich im Spectrum die Purpurfarben nicht finden, das Spectrum nur zwei Farben zeigen können, Gelb und Blau; es kann das Spectrum nirgends eine Lücke haben und es ist kein Grund abzusehen, warum, wenn das farbentüchtige Auge im Gelb die hellste Stelle des Spectrums sieht, nicht auch das blaugelbsichtige sie dort haben sollte. Wir wissen einfach nicht, warum im Gelb die hellste Partie des Spectrums liegt; wir sehen aber, wenn wir nicht mangelhaften Theorien huldigen, keinen Grund, warum der Gelbblausichtige, dessen Netzhaut nicht etwa gegen rothe und grüne Strahlen blind ist, sondern von diesen Strahlen nur qualitativ anders erregt wird, als die Normalnetzhaut, nicht auch im Gelb die hellste Stelle des Spectrums sehen sollte. Es folgt weiter, dass wenn ein solches Auge ein Spectrum betrachtet, in welchem an das Violett sich noch Purpurtöne im Uebergang zu Roth anschliessen, wie z. B. den Index der Radde'schen Tafel, das Spectrum dreigetheilt erscheint, in der Mitte Blau, rechts und links von Gelb flankirt. Beim Gelbblausichtigen ist daher Licht und Farbe niemals getrennt. Wenn ein farbiges Licht die Netzhaut überhaupt erregt, so ruft

es auch bei einer bestimmten Intensität eine Farbenempfindung hervor; die Ausnahmen, die hierbei gelten, sind den Verhältnissen angepasst genau dieselben, wie für das farbentüchtige Auge. Auch die Empfindung des Gelb und Blau ist für diese Augen genau dieselbe, wie für ein Normalauge. Kein Hierhergehöriger wird im mindesten im Zweifel darüber sein, was ein reines, gesättigtes Gelb oder Blau ist, er wird unter Hunderten von farbigen Papieren, Pulvern, Wollen das reinste Gelb sofort herausfinden, schneller sogar als der nicht Farbenblinde, er wird ebenso über das reinste und intensivste Blau keinen Moment im Zweifel sein.

Der Farbenblinde kennt nur zwei Farben und deren Nuancen, er kennt ausser Schwarz, Weiss und Grau nur gelbe und blaue Farben. Ist eine Farbe nicht grau und nehmen wir an, dass der Farbenblinde eine gelbblaue Empfindung ebensowenig haben könne wie wir, so kann eine Farbe für diesen „Blinden" nur Gelb oder Blau sein. Die Art und Weise, wie man noch immer mit Farbenblinden verfährt, scheint nicht sehr wissenschaftlich und nicht sehr zweckdienlich, um dem Farbenblinden selbst Klarheit über seinen Zustand zu verschaffen. Es ist ganz und gar verfehlt, Farbenblinde auszuforschen, wie sie diese oder jene Farbe benennen und bei der in Rede stehenden Kategorie auf Ausdrücke, wie Roth, Grün, Violett irgend welchen Werth zu legen. Man weiss doch, oder sollte doch wissen, dass diese Worte für den Gelbblausichtigen jedes Sinnes entbehren, dass es Worte ohne Begriffe sind, dass man an einen Solchen nur Eine Frage stellen kann, und das ist die, ob die vorgelegte Farbe (wenn nicht schwarzweiss) Gelb oder Blau sei. Der intelligente Farbenblinde belächelt auch in der That die Art und Weise, wie er untersucht wird und empfängt keinen grossen Respect vor der Intelligenz, ja nicht einmal vor dem Farbensinn seines Prüfers. Sobald Jemand bei der Untersuchung mit dem Spectrum oder beim Anschauen des Radde'schen Index (1 bis 24) erklärt hat, dass er nur zwei Farben, Gelb und Blau, sieht, ist er gelbblausichtig. Aufgefordert, die Farben des Spectrums durch farbige Papiere, farbige Wollen, farbige Pulver zu bezeichnen, wird er begreiflicherweise nur zwei Farben, Gelb und Blau (oder Violett), herauslegen. Wenn man ihn nunmehr zwingt, noch andere ähnliche Farben herauszu-

suchen, so wird er, was ebenso begreiflich, das ganze Heer von farbigen Mustern (mit Ausnahme der rein schwarzweissen und ihm so erscheinenden) in die zwei grossen Lager der gelben und blauen Farben theilen. Aber dies ist ja gar nicht der Zweck des Versuchs, der uns lehren soll, welche zwei Farben im Spectrum gesehen werden. Ebenso ist es klar, dass wenn der Farbenblinde (mit seinem ausgezeichneten Farbenunterscheidungsvermögen für Gelb, Blau und Schwarzweiss) beim Ueberblick über den ganzen Theil des Spectrums von Roth bis Blaugrün erklärt, dass dies ein und dieselbe Farbe und zwar Gelb sei, es ein ganz und gar nutzloses Beginnen ist, ihm noch die isolirten Theile dieses Spectrumabschnittes vorzulegen und nun diese isolirten Theile wieder benennen und durch objective Farben bestimmen zu lassen. Denn Gelb bleibt, wie für uns, so auch für den Gelbblausichtigen, Gelb, nämlich das was wir Gelb und das was er Gelb sieht. Auch ist es, nachdem das ganze Spectrum durch die zwei Farben, Gelb und Blau, einmal characterisirt worden ist, ganz gleichgiltig, welche „gelben“ Farben für die einzelnen Theile des gelben und welche „blauen“ für die einzelnen Theile des blauen Spectrums herausgelegt werden. Auch wenn man die Spectralfarben durch Spectralfarben nachlegen lässt (pag. 18), kann man höchstens erfahren, welches Roth, Grün, Orange die gleiche Helligkeit haben, denn dass sie dieselbe Farbe haben, wissen wir ja ohnehin schon. In Gleichem ist es (ausser man will die Grenzen des Spectrums bestimmen) eigentlich nur eine Spielerei (wenngleich eine amusante), wenn man den als gelbblausichtig Erkannten noch mit den Metalllinien prüft. Denn das wissen wir wiederum, dass wenn Jemand im Spectrum von Roth bis Blau nur Gelb und von da bis an's Ende des Spectrums nur Blau sieht, er auch die rothen Rubidiumlinien und die rothe Kaliumlinie (wenn er sie überhaupt sieht) doch wieder nur gelb sehen kann, wie die rothe Lithium-, die gelbe Natrium- und die grüne Thalliumlinie, und dass ihm ebenso die blauen Strontium-, Caesium- und Indiumlinien, sowie die violetten Rubidiumlinien blau erscheinen müssen. Desshalb behält die Prüfung mit den isolirten Metalllinien oder mit Spaltvorrichtungen dennoch ihre hohe Bedeutung, aber nur, so lange der Xanthokyanops nicht erkannt ist. Denn ein Solcher kann ja (und es kommt dies thatsächlich vor) die Farben im Spectrum der Reihe nach

hersagen, wie er sie in der Schule gelernt hat — über das rothe und violette Ende ist er ja doch nie im Zweifel!

Wenn es richtig ist, dass der Gelbblausichtige nicht rothgrünblind ist, sondern dass die Anomalie darin besteht, dass die rothen und grünen Strahlen die Empfindung des Gelb hervorrufen, so wird sich dies durch die Contrastversuche erweisen lassen. Bei dem Schattencontrastversuche z. B. wird der rothe, grüne und gelbe Grundschatten Gelb, der grüne, rothe und blaue Contrastschatten hingegen Blau erscheinen müssen. Und so ist es auch. Es ist ein capitaler Irrthum, dass die Farbenblinden, von denen wir jetzt sprechen, keine farbigen Schatten haben. Es ist dies aber auch ganz und gar unmöglich. Wenn ich vor eine der beiden weissen Lichtquellen ein Spectralgrün gefärbtes Glas setzen würde, so wird jetzt der Grundschatten Spectralgrün sein. Soll der Contrastschatten farblos sein, dann muss es auch der Grundschatten sein, und müsste also der Grundschatten schwarz, weiss, oder grau sein. Wenn das der Fall wäre, müsste im Spectrum an Stelle des Grün ein schwarzer, weisser oder grauer Streifen sich finden. Das trifft aber für das dichromatische Spectrum absolut nicht zu. Da erscheint an Stelle des Grün eine lebhafte Farbe, ein deutliches Gelb. Mithin muss auch der spectralgrün gefärbte Grundschatten farbig, gelb sein und daher der Contrastschatten, falls für den Gelbblausichtigen die physiologischen Axiome Geltung haben, blau. Ganz dasselbe Raisonnement gilt für den rothen Grundschatten. Wenn trotzdem ein grosser Theil der Farbenblinden die objectiven Schatten, die wir roth und grün sehen, farblos sieht, so beweist dies einfach nichts anderes, als dass diese Schatten nicht roth und grün sind — in spectralem Sinn.

Es ist eine hochinteressante und bedeutsame Thatsache, dass der Gelbblausichtige die objectiven Farben, die wir Roth und Grün sehen, Gelb sieht, dass er aber dieselben Farben, wenn sie subjectiv, durch Contrast hervorgerufen werden, Blau empfindet, so dass unter den objectiven Farben Roth, Grün und Gelb, unter den subjectiven hingegen Roth, Grün und Blau coordinirt sich zeigen.

Die bisherigen Erörterungen über den Dichromatismus gehen nicht in's Detail, sie sind principiell. Eine principielle Erörterung erfordert noch die Empfindung des Grau von Seite des Gelb-

blausichtigen. Was das wahre reine neutrale Grau ohne jegliche Beimischung ist, weiss ein Solcher nicht bloss ebensogut, sondern entschieden besser, als der Polychromatiker. Für ihn ist das Prototyp des Grau das Grau der Haut der Maus oder des Elephanten. Wenn ein Gelbblausichtiger zu einer Reihe gelber oder blauer Farben grau legt, dann herrscht eitel Jubel ob dieser Verwechselung. Aber da ist von einer Verwechselung gar keine Rede. Er sieht nämlich das eine Mal das Blau, das andere Mal das Gelb dem Grau beigemischt, das der meisternde Prüfer entweder gar nicht oder erst dann erkennt, wenn ihn der Farben-„blinde“ belehrt, dass die eine Farbe Blaugrau, die andere Gelbgrau sei. Nach meinen Erfahrungen möchte ich aber kaum daran zweifeln, dass der Xanthokyanops wirklich Objecte farbig sieht, die wir neutralgrau sehen müssen. Denn ein Papier, ein Wollbündel, ein Pulver, das eine rothgrüne Farbe hat, müssen wir grau sehen; der Gelbblausichtige aber, für den Roth und Grün keine Gegen-, sondern Nebenfarben sind, kann dieses für uns thatsächlich neutrale Grau gelblich oder gelb sehen, und muss desshalb ein uns thatsächlich neutrales Grau dem Gelb beiordnen. Der Unterschied gegen die gewöhnliche Auffassung ist nur die, dass ein solches Auge die Grundfarbe Roth oder Grün nicht desshalb mit Reingrau verwechselt, weil es Roth oder Grün wie Grau, sondern umgekehrt, weil es Grau wie Roth oder Grün sieht.

Sowie es also einerseits scheint, als ob bei Farbenblindheit Grau oder Schwarz farbig gesehen werden könne, so ist andererseits unzweifelhaft und aus der ganzen Darstellung von selbst sich ergebend, dass der Gelbblausichtige unter bestimmten Umständen dort Reingrau sieht, wo für uns eine lebhafte Farbe existirt. Jede Grundfarbe sieht er farbig, aber die Mischungen gewisser Grundfarben, die uns farbig sind, Grau. Denn wenn Roth und Grün dem Gelb qualitativ entsprechen, so ist, wie schon ausgeführt, nicht bloss Gelb, sondern auch Roth und Grün die Gegenfarbe von Blau, und ein gewisses Blaugrün, sowie ein gewisses Purpur (Rothblau) wird als vollkommen neutralgrau erscheinen. Daher begreift man auch, warum der Farbenblinde farblose Grund- und Contrastschatten sehen kann und thatsächlich häufig sieht, wenn wir Roth oder Grün im Grundschatten sehen. Die Unreinheit der Lichtquelle und der Gläser

ist die Schuld, dass jene Farben im Grundschatten, die uns für ein entschiedenes Roth und Grün imponiren, eigentlich Rothblau und Grünblau sind in Tönen, die dem Farbenblinden grau oder an und für sich nur sehr schwach gefärbt erscheinen können und um so schwächer, als die Beleuchtung schwach ist. Endlich kann ich die Bemerkung nicht unterdrücken, dass es mir scheint, als ob der Farbenblinde eine gelbblaue Farbe sehen könnte, aber doch wohl nur in der Art, dass er das Gelb und Blau abwechselnd sieht, wenn sie sich nicht für Momente vernichten. So kann es kommen, dass ein Blaugrün oder Purpur dem Reingrau zugezählt, dass es aber im nächsten Momente wieder als bläulich, hierauf als gelblich und dann vielleicht wieder als grau bezeichnet wird.

Der Gelbblausichtige wird demnach (wenn wir vom Reinweiss und Reinschwarz absehen, in welchem übrigens der Farbenblinde häufig noch einen Stich in's Blaue oder Gelbe sieht, den wir nicht mehr erkennen) alle farbigen Objecte in drei Reihen theilen:

Erste Reihe, die Reihe der gelben Farben: Roth, Rothgelb, Gelbroth, Gelb, Gelbgrün, Grüngelb, Grün; ferner jenes Grünblau, in welchem das Grün das Blau, und jenes Purpur, in dem das Roth das Blau überwiegt; endlich Grau, das thatsächlich noch einen Stich in's Rothe, Gelbe oder Grüne hat; und Neutralgrau, wenn es Rothgrün ist.

Zweite Reihe, die Reihe der blauen Farben: Blau, Violett; jenes Blaugrün und jenes Purpur, in welchem das Blau überwiegt; Grau, wenn es factisch blaugrau ist.

Dritte Reihe, die Reihe der grauen Farben: Grau; jenes Blaugrün und jenes Purpur, welche das betreffende Auge mit gleicher Intensität der sie constituirenden Grundfarben treffen; individuell auch ein Grau, dem eine gelbe Farbe von bestimmter Wellenlänge oder in sehr geringer Menge beigemischt ist (wovon gleich später).

Es ist eine characteristische Eigenschaft der Gelbblausichtigkeit, dass verschiedene Töne von Blaugrün wie von Purpur, die uns als nahezu identisch erscheinen, als ganz antagonistische Farben bezeichnet werden. Eine Purpurwolle wird blau genannt und etwa ein gleichfarbiges Purpurpulver gelb. Wir können dann sicher sein, dass für das betreffende Auge im Purpur der Wolle das Blau, in jenem des Pulvers das Roth überwiegt, und

dass sie sich das Gleichgewicht halten, wenn eine Purpurfarbe für grau gehalten wird.

Im Spectrum ist kein Purpur, aber Blaugrün ist darin. Es wäre daher gar nichts Wunderbares, wenn dem Farbenblinden im Spectrum an einer Stelle des Blaugrün ein grauer Streifen erschiene, wenn ein grauer Streifen den gelben Theil des Spectrums vom blauen schiede. Das kommt in der That nicht selten vor. Dass es nicht immer vorkommt, dass im dichromatischen Spectrum Gelb und Blau ohne Zwischenstreifen sich hart berühren, kann nur aus der Thatsache erklärt werden, dass die Intensität oder das Gewicht der Empfindung für die einzelnen Theile des Spectrums bei verschiedenen Gelbblausichtigen verschieden ist. So giebt es eine Zahl derselben, bei denen das Gewicht der Blau- und Gelbempfindung an einer Stelle des Spectrums sich gegenseitig vollständig aufhebt, Andere, bei denen dies nirgends der Fall ist. Erstere sehen einen grauen Streifen, letztere nicht, auch wenn man mit einem schmalen Spalte das Spectrum absucht.

Diese Verschiedenheit des Gewichtes der Farbenempfindungen bei den einzelnen in Rede stehenden Farbenblinden müssen wir als Thatsache hinnehmen. Sie äussert sich auch noch in anderen Erscheinungen. Ein Theil der genannten Augen sieht nämlich Roth heller als Grün, ein anderer Grün heller als Roth. Diese Letzteren sind es auch, für die das rothe Ende des Spectrums eine wirkliche oder scheinbare Verkürzung haben kann, indem Strahlen gewisser Wellenlänge entweder gar keine Licht- und Farbenempfindung oder eine solche erst bei einer viel grösseren Intensität hervorrufen, als sie für das farbentüchtige oder das sog. „grünblinde" Auge nothwendig ist. Sobald aber überhaupt Lichtempfindung mit diesem farbigen Lichte hervorgerufen wird, ist auch die Farbe da. Es sehe z. B. ein solcher „Roth"blinder das Roth im Spectrum nicht bis zur Linie A, sondern nur bis zur Linie B. Man erzeuge die Kaliumlinie, die bei A liegt. Er sieht sie vielleicht gar nicht, auch wenn wie ihre Helligkeit stark steigern. Es kann aber auch sein, dass wenn wir die Kaliumlinie sehr leuchtend machen, nunmehr die leuchtende Linie wahrgenommen wird. Bei einer gewissen Lichtstärke erscheint sie dann sicher auch farbig, gelb. Die Mähre, dass man die Farbenblindheit dadurch entdeckt hat, dass ein Schneiderlein eine schwarze Hose mit rothem Tuche flickte, characterisirt sehr schlecht das Wesen

der „Rothblindheit". Jener Schneider hatte ein verkürztes Spectrum oder flickte die Hose bei schlechter Beleuchtung. Wenn es finster ist, halten auch wir Roth für Schwarz. Der Gelbblausichtige, bei dem das Gewicht der Rothempfindung herabgesetzt sein kann, kann allerdings einen rothen Fleck in Schwarz einsetzen bei einer Beleuchtung, bei der wir noch Roth von Schwarz unterscheiden. Der Gelbblausichtige, bei welchem das Gewicht der Empfindungen für die eine oder andere der gelben Farben herabgesetzt ist, kann auch ein Weiss oder ein Grau, dem eine geringe Menge dieser Farbe beigemischt ist, für Weiss oder Grau halten. Aber das Wesen der Xanthokyanopie liegt nicht darin, dass das Spectrum verkürzt oder dass das Gewicht der Rothempfindung herabgesetzt ist — denn Beides kann fehlen.

---

§ 9. Prüfung eines Xanthokyanopen.

Das Wesen der Xanthokyanopie möge durch die Resultate der Prüfung eines intelligenten Farbenblinden erläutert, es möge gezeigt werden, wie sich dieser Xanthokyanop bei den bisher beschriebenen Prüfungsmethoden verhält.

Diese Art der wissenschaftlichen Prüfung ist ganz etwas Anderes, als die Prüfung eines Farbenblinden, der alle Ursache hat, seinen Fehler zu verheimlichen. Es ist etwas Anderes, durch die Angaben eines Farbenblinden, der selbst zur Ergründung seines Fehlers alles Mögliche beitragen will, Anhaltspunkte für das Wesen der Farbenblindheit zu gewinnen — hiezu reichen die bisher angeführten Methoden vollkommen aus; und wieder etwas Anderes, auf möglichst raffinirte Art den Schlichen des dissimulirenden Farbenblinden entgegenzutreten. Die wissenschaftliche Farbenprüfung, die zunächst folgt, muss also von der praktischen, die später abgehandelt wird, unterschieden werden.

1. Index von Radde's Farbentafel.

Die Untersuchung ist ganz einfach. Man legt dem Farbenblinden den Index mit seinen 42 Farbentönen und Nuancen

vor und lässt die Farben benennen. Herr X. ertheilt folgende Auskunft:

Nummer 1 bis Nummer 15 incl. ist dieselbe Farbe . . . . Gelb,

und zwar 1 bis 6: Zinnoberroth . . .
Zwei Uebergänge zu Orange . . . .
Orange . . . . .
Zwei Uebergänge zu Gelb. . . . . } = Gelbbraun.

7: Gelb . . . . . . = schön Gelb.

Dagegen wieder 8 bis 15: Zwei Uebergänge nach Gelbgrün . . .
Gelbgrün . . . . .
Zwei Uebergänge nach Grasgrün . . .
Grasgrün . . . . .
Zwei Uebergänge nach Blaugrün . . . } = Gelbbraun.

Identisch sind 2 und 13: 1. Uebergang von Zinnober nach Orange und Grasgrün;
3 und 12: 2. Uebergang von Zinnober nach Orange,
und 2. „ „ Gelbgrün nach Grasgrün.
4 und 11: Orange
und 1. Uebergang von Gelbgrün nach Grasgrün.

Nummer 16 bis Nummer 24 incl. ist wieder eine und dieselbe Farbe, und zwar Blau:
No. 19: Blau ist das reinste Blau,
während die übrigen minder gesättigten blauen Farben durch
16 bis 18: Blaugrün,
Zwei Uebergänge zu Blau,
und 20 bis 24: Zwei Uebergänge zu Violett,
Violett,
Zwei Uebergänge zu Purpur
gegeben sind.

Endlich constituiren Nummer 25 bis Nummer 30 wieder dieselbe Farbe und zwar wieder ein immer

lichter werdendes Gelbbraun, so dass z. B. 30 (2. Uebergang von Carmin zu Zinnober) und 14 (1. Uebergang von Grasgrün zu Blaugrün) identisch sind. 25 bis 30 sind in der Tafel bezeichnet als:

Purpur,
Zwei Uebergänge nach Carmin,
Carmin,
Zwei Uebergänge nach Zinnober.

Es sei noch erwähnt, dass 31 und 32 (Neutralgrau und Zinnobergrau) als Grau, 33 bis 37 (Braun, Orangegrau, Gelbgrau, Gelblichgrüngrau) als Gelbgrau und 38 bis 42 (Blaugrüngrau, Blaugrau, Violettgrau, Purpurgrau, Carmingrau) Bläulichgrau genannt werden.

Schöner kann das Wesen der Gelbblausichtigkeit unmöglich hervortreten als bei dieser Prüfung. Das für uns reinste Gelb und reinste Blau ist es auch dem Xanthokyanops; alle anderen Farben sind nur Nuancen von Gelb und Blau. Die gelben Farben gehen von Roth durch Orange, Gelb und Grün bis in jenes Grünblau, in welchem das Grün noch überwiegt; dann wieder von jenem Purpur, in dem das Roth überwiegt bis zum Roth. Die blauen Farben beginnen im Blaugrün mit überwiegendem Blau und endigen, durch Blau und Violett hindurchgehend, in jenem Purpur, in dem noch Blau überwiegt. Die vollkommene Identität gewisser Farben in der gelben, wie in der blauen Reihe beruht nur auf Gleichheit der Nuance. Für Herrn X. findet sich im Radde'schen Index kein Blaugrün, in dem sich Blau und Grün so vollständig die Waagschale hielten, dass es Grau erschiene und ebensowenig enthält der Index ein graues Purpur, d. i. ein Purpur mit gleichem Gewicht von Blau und Roth.

2. Spectraluntersuchung.

Das Spectrum des Tageslichtes, sowie einer Gasflamme ist für Herrn X. rein dichromatisch, Gelb und Blau; die grösste Helligkeit im Gelb; zwischen Gelb und Blau auch bei starker Vergrösserung des Spectrometers keine graue Linie; die Grenze liegt beim Uebergang von Grün in Blaugrün, ungefähr entsprechend der Frauenhofer'schen Linie b. Das angeblich

reine Grün zwischen E und b wird gelb gesehen. Das Spectrum ist am violetten (blauen) Ende nicht verkürzt, dagegen zeigt es eine Verkürzung am rothen Ende. Es wird das spectrale Roth zwar wahrgenommen, aber nur bis etwa zur Linie B. Es erscheint demnach Roth, Orange, Gelb und Grün = Gelb oder „Feuerfarben", „Farbe der untergehenden Sonne"; Blau und Violett = Blau. Um festzustellen, ob die Verkürzung des rothen Endes eine wirkliche oder scheinbare sei, wird die im äussersten Roth bei A liegende Kaliumlinie (durch Verbrennen von Jodkalium in der nicht leuchtenden Gasflamme) erzeugt. So lange die Kaliumlinie nicht intensiv ist, wird sie nicht wahrgenommen; sobald sie sehr lichtstark wird, wird sie gesehen und als „Feuerfarben" bezeichnet. Das Spectrum hat daher gegen Ultraroth hin keine Verkürzung. Das ganze Spectrum wird nur durch zwei farbige Wollen nachgelegt, ein reines Gelb und ein reines Blau (oder Violett). Isolirt man die einzelnen Theile des Spectrums, so erhält man immer die Bezeichnung: Gelb oder Blau. Lässt man die einzelnen Theile durch Wollproben nachlegen (Magnus, Cohn), so erhält man, wenn man sich nicht mit dem Gelb begnügt, einfach eine Farbenprobe auf Wolle, da zu Gelb alle gelben, zu Blau alle blauen Farben gelegt werden, aber keine Spectralprobe.

Macht man die rothe Lithium-, die gelbe Natrium- und die grüne Thalliumlinie, jede für sich, sichtbar, so wird die Linie sofort als gelb und als identisch mit den anderen bezeichnet. Lässt man gleichzeitig die Natrium- und die Thalliumlinie erscheinen, so ist Thallium mehr weissgelb, Natrium mehr braungelb. Lässt man dann Natrium und Lithium gleichzeitig aufleuchten, so ist wieder Natrium im Vergleiche zu Lithium mehr weissgelb in dem gleichen Verhältnisse, als Thallium zu Natrium weissgelb erschien.

Sowie Herr X. verhalten sich im Grossen und Ganzen alle Xanthokyanopen. Namentlich muss hervorgehoben werden, dass die Stelle im Spectrum, wo Gelb in Blau übergeht, resp. wo die neutrale graue Linie sich findet, bei den gleich zu nennenden zwei Arten der Xanthokyanopen keine verschiedene Lage hat. Wenn Herr X., welcher ein „verkürztes" Spectrum hat, d. h. welcher die Linie A im äussersten Roth erst bei einer viel stärkeren Intensität sieht, als ein farbentüchtiges Auge,

und dem die grüne Thalliumlinie weisslicher erscheint als die rothe Lithiumlinie zu jener Sorte der Xanthokyanopen gehört, die man „Rothblind“ genannt hat, so wird der „Grünblinde“ jener Xanthokyanop sein, der die A-Linie im Roth bei derselben Helligkeit, wie der Farbentüchtige wahrnimmt, und der die rothe Lithiumlinie weisslicher sieht als die grüne Thalliumlinie.

3. Polarisationsapparate.

a) Der Apparat von Arago, den Rose zur Diagnose der Xanthokyanopie benutzte, hat den Nachtheil, dass er nur Eine und zwar verhältnissmässig dünne (5 mm dicke) senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte enthält, wodurch eine Reihe relativ sehr gesättigter Farbentöne erzeugt wird. Für die Untersuchung vollständiger Farbenblindheit ist dies kein Nachtheil. Will man aber einen Apparat besitzen, mit welchem man geringe Grade von Farbenschwäche, was besonders für die Diagnose pathologisch sich entwickelnder Farbenblindheit von grosser Wichtigkeit ist, zu entdecken vermag, dann ist es für jene Apparate, welche senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatten tragen, nothwendig, dass man Quarzplatten verschiedener Dicke einschieben kann. Je dicker die Quarzplatte, desto weisslicher werden die Farbentöne, wobei sich allerdings auch ihre Zusammensetzung ändert, d. h. das Roth und Grün, das eine Quarzplatte von 5 mm Dicke zwischen zwei Nicols zeigt, ist nicht blos saturirter, wie das Roth und Grün, das einer solchen Platte von 10 oder 15 mm Dicke entspricht, sondern es entspricht das Roth und Grün für jede Quarzdicke einer andern Mischung spectraler Farben (pag. 47).

Das Weisslichwerden der Farben ist keineswegs ein Hinderniss für die Diagnose der Farbenblindheit. Im Gegentheil! Wir erhalten dadurch einen feinen Fühler. Ein Xanthokyanop z. B. wird niemals zwei im Grossen und Ganzen weiss erscheinende Felder für gleichfarbig erklären, wenn in dem einen Felde noch eine Spur von Blau, und in dem andern eine Spur von Gelb enthalten ist, so zwar, dass es gar nichts besonderes ist, dass der Farbentüchtige erst von dem Farbenblinden auf die antogonistische Färbung der beiden scheinbar weissen Felder aufmerksam gemacht werden muss.

Wenn nun ein solches Auge, das einen hervorragenden Farbensinn für Gelb und Blau hat, zwei andere Felder, in welcher trotz ihrer Weisslichkeit der Farbentüchtige in ausgeprägtester Weise einen rothen und einen grünen Farbenton wahrnimmt, für gleichfarbig erklärt, so ist der Fehler offenkundig.

b) In König's Leukoskop läuft der Index, der die Drehung des Ocularnicols anzeigt, über eine Scala, welche in der Richtung der Bewegung eines Uhrzeigers von 10° bis 0° (diese Grade nenne ich negativ) und dann weiter (positiv) von 0° bis 110° reicht. Bei 0° und bei 90° fällt die Schwingungsebene des Nicols mit Einer Schwingungsebene des doppelbrechenden Krystalls zusammen, steht daher auf der andern senkrecht.

Stellt man in das Leukoskop die Quarzplatte von 5 mm Dicke, so erhält Herr X. mit seinem rechten Auge eine Farbengleichung bei + 27°. Die Helligkeit der gleichfarbigen Bilder ist nahezu gleich, das linke ist nur etwas dunkler. Besässe das Leukoskop den zweiten Nicol des Apparates von Arago-Rose, so könnte man durch Drehung dieses Nicols auch vollkommen gleiche Helligkeit der beiden Felder erzeugen. Aber für die Diagnose der Farbenblindheit ist dies ohne Belang, denn die für gleichfarbig und nur sehr wenig ungleich hell gehaltenen Felder sind Lichtpurpur und Grün.

Legt man die Platte von 10 mm Dicke ins Leukoskop, so schwankt Herr X., ob — 2° oder + 3° die beste Einstellung sei, entscheidet sich aber dann für diese letztere. Bei + 3° sind die Felder gleichfarbig und gleich hell. Trotz der ausgezeichneten Empfindlichkeit der Augen für Helligkeitsunterschiede vermag Herr X. ungeachtet der dringenden Aufforderung zu besonderer Aufmerksamkeit, keinen Unterschied weder in der Farbe noch in der Helligkeit wahrzunehmen. Die beiden Felder erscheinen mir Lichtpurpur und Grün.

Nimmt man beide Quarze, also eine Quarzplatte von 15 mm Dicke, dann sind die beiden Felder zwischen + 60° und + 70° gleichfarbig; eine vollständige Farbengleichung (in Betreff der Farbe und der Helligkeit) findet bei + 65° (Grün und Roth) statt.

Die beiden Augen verhalten sich nicht ganz gleich. Die

Gleichungen für das linke Auge sind von jenen für das rechte, wenn auch nur wenig verschieden.

c) Dem Apparate von Chibret gegenüber verhält sich Herr X. folgendermassen. Es wird der Index in der Farbenscala auf den Nullpunkt von Orange (Orangé O) und der Index I der Sättigungsscala auf 5° gestellt. Die beiden Felder sind sehr weisslich: Orange und Blaugrün (bei 0°, in welcher Stellung die Schwingungsebenen des doppelbrechenden Krystalls mit den Schwingungsebenen des Quarzes zusammenfallen, sind beide Felder weiss. pag. 37). Herr X. findet sie sehr ähnlich.

Wird der Index der Farbenscala allmälig sowohl gegen Gelb (Jaune) als auch gegen Roth (Rouge) verschoben, so zeigt sich, dass bei O_2 (beim 2. Theilstriche von Orange gegen Roth hin) eine vollkommene Farbengleichung hergestellt ist. Nunmehr wird der Index I der Sättigungsscala von 5° gegen 45° allmälig vorgerückt. Die beiden Farben (Grün und Purpur) werden immer gesättigter, bis sie, wenn i auf 45° steht, den relativ höchsten Grad der Sättigung erreicht haben. Aber Herr X. sieht noch immer die beiden Felder für gleichfarbig und gleich hell an. (Das Instrument ist gegen das Fenster gerichtet. Das Licht kommt von der gegenüberliegenden Wand. Der Himmel ist bedeckt.) In diesem Falle ist also die Hinzufügung eines zweiten Nicols zur Herstellung einer Farbengleichung überflüssig.

Chibret wirft die Frage auf, ob nicht die Verwechslung gerade der complementären Farben Blaugrün und Orange daher rühre, dass diese Farben nahezu gleiche Helligkeit haben. Er gibt zur Antwort, dass es leicht sei, ein zweites Nicol dem Instrumente beizufügen und so alle complementären Farben dadurch auf gleiche Helligkeit zu bringen, dass man durch entsprechende Drehung des Nicols die hellere verdunkelt. Chibret fügt jedoch hinzu, dass die Farbenblinden fortfuhren, Complementärfarben von gleicher Helligkeit ebenso zu unterscheiden wie dieselben Farben mit ungleicher Helligkeit.

Chibret gibt eine genaue Vorschrift für den Gebrauch seines Instruments:

1. Man stelle den Index (I) der Sättigungsscala auf 5° und den Index (i) der Farbenscala auf den Nullpunkt von Orange (Orangé O).

2. Der zu Prüfende setze sich auf eine Entfernung von 3 Metern vom, an dunkeln Tagen nahe ans Fenster.

3. Den Zeigefinger der rechten Hand stecke der zu Prüfende durch den Ring B und halte so das Instrument.

4. Er blicke durch das Instrument mit dem rechten Auge gegen das Fenster, während das linke geschlossen wird.

5. Man stelle folgende Frage: „Sehen Sie zwei Kreisscheiben von derselben Farbe?"

Antwort: Nein.

6. Man wiederhole fortwährend dieselbe Frage, indem man den Zeiger (i) der Farbenscala erst in der Richtung gegen Roth, dann in der Richtung gegen Gelb langsam dreht.

Antwort: Nein.

7. Man stellt rasch nach einander den Zeiger auf Gelb, Roth und Violett, stets dieselbe Frage richtend.

Antwort: Nein.

8. Man führt den Zeiger der Sättigungsscala auf 0° und wiederholt die Frage ein letztes Mal.

Antwort: Ja, oder: nahezu (beide Felder sind jetzt weiss).

Schluss: Der Untersuchte ist nicht farbenblind.

Hierauf wird das linke Auge in der gleichen Weise geprüft.

Ist das Subject farbenblind, so wird bei der Probe 6 in einem bestimmten Momente, z. B. wenn der Zeiger i auf Orange Null steht, die Antwort: „Ja" erfolgen. Jetzt lässt man langsam durch Drehung der Ocularhülse Oc den Zeiger I der Sättigungsscala von 5° gegen 45° wandern. Bei einer bestimmten Stellung des Index I werde die Frage nach der Gleichheit der Felder mit: „Nein" beantwortet. Nun wiederhole man den Versuch, um sich zu überzeugen, ob für den Farbenblinden wirklich bei dem zuerst angegebenen Grade der Sättigung die Gleichung aufhört. Es sei 15° der höchste Grad an der Sättigungsscala, bei dem noch eine Verwechslung der beiden Farben stattfindet. Man drückt dann die Art und den Grad der Farbenblindheit aus durch die Legende: 15° Orange O. Dagegen würde man schreiben: 15° Orange 2 Roth, wenn die Farbengleichung hergestellt wird, sobald der Index (i) der Farbenscala auf dem

zweiten Theilstrich von Orange gegen Roth anlangt. Ich selbst schreibe in einem solchen Falle: 15° Orange 2 (vgl. pag. 46). Es heisst dies also, dass das betreffende Auge die beiden Complementärfarben, die beim 2. Theilstrich von Orange gegen Roth erscheinen, nur bis zu dem, durch 15° gekennzeichneten Sättigungsgrade für identisch hält. Bei einem höheren Sättigungsgrade werden die beiden Felder nicht mehr gleichfarbig gesehen.

Die Farbengleichung für Herrn X. lautet

nach Chibret: 45° O_2 R

oder einfacher: 45° O_2.

Nach Chibret sind Orange (Rothgelb) und Grünblau diejenigen Farben, die der Farbenblinde am häufigsten verwechselt. Die gegenwärtig herrschenden zwei Haupttheorien vermögen die Verwechslung dieser zwei Farben nicht zu erklären. Dagegen wird es nicht schwer, die genannte Verwechslung, sowie jene von Grün und Purpur zu verstehen, wenn wir das früher (pag. 58) Gesagte bedenken und wenn wir erwägen, dass unser Xanthokyanop thatsächlich im Radde'schen Index ein Orange und ein Grünblau, ebenso ein Grün und ein Rothblau (Purpur) für dieselben Farben hält, und zwar deshalb, weil er alle miteinander „gelblich" sieht (pag. 74).

4. Simultancontrastversuche.

a) H. Meyer's Florpapier-Versuch, durch Adolf Weber 1875 zur Farbenprüfung empfohlen, dadurch zu vervollständigen, dass man die inducirte Farbe nicht blos nennen, sondern durch farbige Papierringe (oder Wollen, Pulver) kennzeichnen lässt. Die Probe wird mit dem Heidelberger Farbenbuche in der Art angestellt, dass ehe man den Contrast erzeugt, nach der Farbe des inducirenden Papiers (ob Gelb oder Blau) geforscht wird. Die eingeklammerten Namen gelten für das farbentüchtige Auge.

Blatt 2. .	(Rosa)	Blaugrau,	wird dazu gelegt	ein Rosapulver (Krapprosa).
Contrast .	(Dunkelgrün)	Braun,	„ „ „	ein brauner Ring, Chromgrünpulver.
Blatt 3. .	(Violett)	Blau,	„ „ „	eine dunkelblaue Wolle.
Contrast .	(Gelbgrün)	Gelb,	„ „ „	ein gelber Ring.
Blatt 4. .	(Purpur)	Indigo,	„ „ „	eine dunkelblaue Wolle.
Contrast .	(Lichtgrün)	Lichtgraubraun	„ „ „	ein brauner Ring.

Blatt 7—9 (Blau)	Blau,	wird dazu gelegt	eine violette Wolle.
Contrast . (Gelb)	Gelb,	„ „ „	gelber Ring, Chromgelbpulver.
Blatt 19 . (Lichtgrün)	Gelb,	„ „ „	lichtgrüne Wolle, orangefarbenes Pulver.
Contrast . (Dunkelroth)	Indigo,	„ „ „	Indigo (Pulver).
Blatt 20 . (Gelb)	Gelb,		
Contrast . (Dunkelblau)	Indigo,	„ „ „	Indigo.

Die „blauen" Farben: Blau, Violett, Purpur, Rosa, deren Contrastfarben Gelb, Grüngelb, Lichtgrün, Dunkelgrün sind, haben einen gelben oder gelbbraunen Contrast; die „gelben" Farben: Grün und Gelb einen blauen (Indigo-)Contrast. Ein reines Roth, das eine sichtbare Contrastfarbe geben würde, findet sich nicht im Farbenbuch.

b) Spiegelversuch von Ragona Scina, durch Cohn zur Farbenprüfung empfohlen (1878). Nach Minder und Pflüger (1878) sind Grund- und Contrastfarbe durch Wollen nachzulegen.

Bei Farbe des Glases	erscheint Grundquadrat:	Contrastquadrat:
1. Rosa . . .	Schönbraungelb	Lichtblau
2. Purpur . .	Gelbbraun	Dunkelblau
3. Roth . . .	Schmutzigbraun	Schwarzblau, Indigo
4. Grün . . .	Gelbbraun	Lichteres Indigo
5. Gelb . . .	Eidottergelb	Indigo
6. Blau . . .	Blau	Schönbraun

Rosa und Purpur (in denen offenbar Roth überwiegt), Roth und Grün, bei denen das Grundquadrat dem farbentüchtigen Auge in den herrlichsten Farben: Rosa, Roth und Grün erscheint, erscheinen dem Gelbblausichtigen als nahezu gleiche Nuancen des Gelb, als Gelbbraun und geben demnach wie das Gelb, alle einen blauen Contrast. Die lichtblaue Contrastfarbe (1) wird durch ein lichtviolettes Pulver (Ultramarinviolett), die dunkelblaue (2) durch ein kobaltblaues Pulver, die schwarzblauen Contrastfarben (3 bis 5) durch Indigo nachgelegt, während der Contrast auf Blau, übereinstimmend mit dem Eindruck auf ein normales Auge, durch eine braune Wolle (unter den Pulvern keine geeignete Farbe) bezeichnet wird. Die herrlichen blauen Contrastschatten lassen den Gedanken gar nicht aufkommen, als ob dies nur der Contrast auf jenes gelbe Licht wäre, das die rothen und grünen Gläser durchlassen.

c) Farbige Schatten, schon von Leonardo da Vinci beobachtet, von Stilling (1875) zur Prüfung des Farbensinnes empfohlen. Nach Cohn und Hock (1879) ist es auch hier besser, die Farben der Grund- und Contrastschatten nicht blos nennen, sondern auch durch Wollen bezeichnen zu lassen. Die künstliche Beleuchtung bereitet jedoch in dieser Hinsicht einige Schwierigkeiten.

Sieht Herr X. durch die Gläser, mit denen der Schattenversuch anzustellen ist, gegen den Himmel, sowie gegen die Petroleumflamme, so sieht er durch das rothe, grüne und gelbe Glas den Himmel feuerfarben, durch das blaue Glas blau. Die Lampenflamme erscheint feuerfarben durch das rothe und grüne, gelb durch das gelbe, blau durch das blaue Glas.

Der Grundschatten erscheint bei Anwendung des blauen Glases blau, der Contrastschatten gelb. Dagegen ist der Grundschatten für das rothe, grüne und gelbe Glas gelb, der Contrastschatten blau. Es ist eine ungemein frappante Erscheinung, dass während bei rothem Glase Roth rechts, Grün links, und bei grünem Glase Grün rechts, Roth links steht, vom Farbenblinden beidemale der Schatten rechts gelb, der Schatten links blau gesehen wird (ganz wie beim Spiegelcontrastversuche). Bei Anstellung des früher (pag. 54) beschriebenen Versuches, bei welchem unter Zuziehung des Tageslichtes der blaue Contrastschatten erzeugt wird, bleibt der Contrastschatten blau, wenn er sich für das Normalauge durch das Herabschrauben der Lampenflamme in Grün geändert hat.

Man könnte sagen, dass wenn Rothgrünblindheit besteht, nur die gelben Strahlen empfunden werden, welche das rothe, wie das grüne Glas durchlässt, dass der Grundschatten beidemale gelb, demnach der Contrastschatten beidemale blau erscheinen muss. Desshalb wird noch mit einer (rothen) Fuchsinlösung und einer (grünen) Nickelchlorürlösung geprüft. Durch jede der Lösungen erscheint die Flamme wieder feuerfarben, der Grundschatten ist auch hier gelb, der Contrastschatten blau.

Alle drei Arten der Contrastversuche erhellen deutlich das Wesen der Einen Art des Dichromatismus, der Xanthokyanopie. Selbst bei wirklicher Rothgrünblindheit, d. h. bei einem Zustande,

bei welchem rothes und grünes Licht überhaupt keine farbige Empfindung hervorbrächte, würde man bei den Contrastversuchen farbige Contraste bekommen können, weil es keine reinen Farben auf Papier und im Glase gibt und daher das beigemischte Blau oder Gelb eine farbige Grund- und Contrastempfindung erzeugen könnte. Um so weniger können die Contraste farblos sein, d. h. können die farbigen Contraste fehlen, da das Wesen der Dichromatopie nicht in einer Blindheit gegen rothe und grüne Strahlen, sondern in einer qualitativen Aenderung des durch diese Strahlen hervorgerufenen Farbeneindrucks besteht. Fehlen die farbigen Contraste wirklich, und sie fehlen wirklich häufig, dann kann dies, wenn nicht mangelnde Intelligenz des Untersuchten oder Mangelhaftigkeit des Versuchs Schuld trägt, wie früher (pag. 69) schon erwähnt, nur darin begründet sein, dass die Grundfarbe ein gewisses Blaugrün oder Purpur ist, das dem Gelbblausichtigen grau erscheint. Es gibt dann keinen farbigen Grund- und daher auch keinen farbigen Gegenschatten. Die Grundfarben Roth und Grün dagegen sind bei unverkürztem Spectrum stets farbig und haben farbige Contraste. Es ist unverständlich, wie Stilling, der die Erscheinungen der Dichromatopie sehr genau kennt und beschreibt, die Diagnose derselben auf die Farblosigkeit der Schatten (eintretend das einemal bei Anwendung von Roth und Grün, das anderemal bei der von Gelb und Blau) basiren kann.

5. Der Farbenkreisel.

Die Hauptfrage, die der Farbenkreisel zu lösen hätte, wäre die: „Welche Farben verwechselt der Farbenblinde mit Grau?“ Würde ein reines Roth, das man auf dem einen Ring des Kreisels erzeugt, gleich gesehen mit einem Grau, das aus Schwarz und Weiss auf dem zweiten Ringe hergestellt wird und wäre das Analoge mit reinem Grün der Fall, dann wären das reine Roth und das reine Grün die Farben, die wie Grau vom Farbenblinden empfunden würden, dann liesse sich natürlich auch eine Gleichung zwischen Roth und Grün herstellen, da der rothe und der grüne Ring nur durch verschiedene Helligkeit sich unterscheiden könnten, die wir durch Einfügung eines weissen oder schwarzen Sectors in einen der Farbenringe auszugleichen im Stande wären. Würde dagegen mit reinem Roth

einerseits und mit Blaugrün andererseits oder mit reinem Grün einerseits und Purpur andererseits eine Gleichung mit Grau hergestellt werden können, dann wären Roth und Blaugrün (bez. Grün und Purpur) die Graufarben des Xanthokyanopen. Nach der oben (pag. 69) entwickelten Theorie können weder Urroth und Urgrün, noch Urroth und Blaugrün, noch Urgrün und Purpur, es müssen vielmehr Blauroth und Blaugrün die Graufarben des Xanthokyanopen sein, was auch thatsächlich mit Hilfe des Farbenkreisels erwiesen werden kann.

Wenn der Farbenkreisel lehren soll, welche Farben der Farbenblinde mit Grau verwechselt, so muss selbstverständlich vorausgesetzt werden, dass der Farbenblinde diejenige Farbe, die der Farbentüchtige grau sieht, gleichfalls grau sieht, denn würde er dieses Grau nicht grau, sondern in irgend einer andern Farbe sehen, dann möchte ich wissen, was die Gleichungen am Farbenkreisel den Farbentüchtigen lehren sollten.

Das Verhalten des Herrn X. bei der Prüfung mit dem Kreisel wird uns die Sache klar machen. Die Prüfung, die früher schon mit dem verticalen Kreisel vorgenommen worden war, wird an dem horizontalen Kreisel des grössern Hering'schen Apparates (pag. 63) in Scene gesetzt. Als ich Herrn X. das schwarze Blumenpapier vorzeige, das zur Herstellung des Grau verwendet wird, lacht er laut auf. „Ich wisse doch, dass er Schwarz kenne. Das vorgelegte Papier sei aber ein ausgesprochenes Gelb.“ Gegen den Aermel des mittelbraunen Rocks gehalten, den Herr X. trägt, erscheint das Schwarz fast in der gleichen Farbe, etwas dunkler. Ein Bogen rothbraunen Blumenpapiers dagegen wird trotz der viel grösseren Fläche für viel dunkler gelb erklärt, als die schwarze Scheibe und könnte viel eher mit Schwarz verwechselt werden, wie das gelbe „Schwarz“, mit dem ich prüfen wollte. Uebrigens findet auch das Weiss keine Gnade in den Augen des Herrn X. Meine Hoffnung, dass dieses so schöne Weiss blau sei und so durch Mischung von Gelbschwarz und Blauweiss ein reines Grau gemischt werden könnte, wird getäuscht, denn auch dieses Weiss hat für Herrn X. einen gelblichen Stich.

Dass Xanthokyanopen den Farbentüchtigen darüber be-

lehren, dass ein von diesem gesehenes Grau nicht Neutralgrau, sondern Blaugrau oder Gelbgrau sei, ist allerdings eine mir längst bekannte Thatsache (vgl. pag. 69), aber dass ein Farbenblinder ein Schwarz für ein helleres Gelb erklärt, als ein Rothbraun, hat mich doch ein wenig consternirt, um so mehr, als ich an diesem Schwarz trotz der Belehrung des Farbenblinden, selbst wenn ich mit der schwarzen Scheibe zum Fenster trat und den besten Lichteinfall suchte, einen gelblichen Schimmer nicht, sondern erst durch besondere Manipulationen entdecken konnte. Beim Weiss, bei dem Herr X. nur einen gelblichen Stich sieht, gab ich mir, von der Erfolglosigkeit solcher Bestrebungen im Principe überzeugt, gar keine Mühe mehr, diesen gelblichen Schimmer zu entdecken.

Wenn ich dieses Schwarz und Weiss am Farbenkreisel mische, so erhalte ich für meine farbentüchtigen Augen ein neutrales Grau, Herr X. jedoch durch Mischung dieser für ihn gelbschwarzen und gelblichweissen Farbe niemals ein neutrales Grau, sondern immer ein ausgesprochenes Gelbgrau. Wenn der Xanthokyanop Roth und Grün gelb sieht, so wird er in der That für reines Roth wie für reines Grün eine Gleichung mit diesem Grau erhalten können, weil es ja ein Rothgrau und ein Grüngrau geben muss, das mit diesem Gelbgrau identisch ist. Es wäre jedoch fehlerhaft, aus einer solchen Gleichung zu schliessen, dass der Xanthokyanop das reine Roth und das reine Grün grau sieht, da diese Gleichung im Gegentheil beweisen würde, dass Roth wie Grün für seine Augen gelb sind.

Da nun für Herrn X. aus der Mischung der mir zu Gebote stehenden schwarzen und weissen Farbe ein neutrales Grau nicht hergestellt werden kann, so ist die gewünschte Prüfung am Farbenkreisel vom wissenschaftlichen Standpunkte aus unmöglich und ich müsste auf dieselbe verzichten, wenn eben Herr X. nicht besser als ich das neutrale Grau kennen würde und so im Stande wäre aus Roth und Blau, sowie aus Grün und Blau ein neutrales Grau zu mischen, ohne eines Vergleiches mit einem aus Schwarz und Weiss gemischten Grau zu bedürfen. Suche ich dennoch einen solchen Vergleich, um die Helligkeit der beiden Grau gleich zu machen, so muss ich davon absehen, dass dem grauen Ring ein gelber Stich anhaftet und dass

durch Contrast der für den Xanthokyanopen neutralgraue Ring bläulich wird.

Von den bei Herrn X. hergestellten (soi-disant) Gleichungen sind die folgenden hervorzuheben:

Die Drei-Farben-Gleichung.

$171{\cdot}5^{0}$ Roth + 112^{0} Grün + $76{\cdot}5^{0}$ Blau = 67^{0} Weiss + 293^{0} Schwarz.

Dem Leser ist es bisher nicht bekannt gegeben worden, dass aus drei Farben Weiss (Grau) gemischt werden kann. (Die Farben der verwendeten Papiere sind nicht hell genug, um zusammen Weiss zu geben; sie geben daher Grau.) Die Sache ist nach der Vierfarbentheorie ganz einfach. Das reine Roth im rothen Papier wird durch das reine Grün im grünen Papier vernichtet, das Gelb, das in diesen beiden Papieren enthalten ist, jedoch durch das Blau des blauen Papiersectors. Nach der Ansicht Hering's, dass Roth und Grün, Gelb und Blau sich vernichten, müsste für den Xanthokyanopen dieselbe Gleichung gelten, wie für den Farbentüchtigen. Beim Farbentüchtigen wird am Farbenkreisel das Roth vom Grün vernichtet und es bleibt nur das Grau (Weiss) übrig, welches durch Roth wie durch Grün hervorgerufen wird; der Xanthokyanop sieht nach Hering das Roth wie das Grün überhaupt nicht, sondern nur das Grau. Der Unterschied zwischen dem Farbentüchtigen und dem Xanthokyanopen besteht darin, dass der Erstere Roth und Grün, jedes für sich, farbig sieht, während der Xanthokyanop weder das eine noch das andere farbig sieht. Wenn ich aber mit Hilfe des Farbenkreisels Roth- und Grün-Erregung simultan hervorrufe, dann besteht absolut kein Unterschied zwischen Farbentüchtigkeit und Rothgrünblindheit. Das farbentüchtige Auge kann aber die Gleichung des Herrn X. absolut nicht anerkennen, denn der aus Farben zusammengesetzte Ring erscheint diesem Auge nicht grau, sondern sehr deutlich blau (blaugrau). Da der Xanthokyanop Roth und Grün gelb sieht, so braucht sein Auge zur Vernichtung des gesammten Gelb mehr Blau als das farbentüchtige Auge. Dieses überschüssige Blau wird dem farbentüchtigen Auge erkennbar.

Die Zwei-Farben-Gleichungen.

a) Gelb und Blau.

147° Gelb + 213° Blau = 131° Weiss + 229° Schwarz.

Diese für mein Auge aufgestellte Gleichung erkannte Herr X. an. Es kann daher von Niemand bewiesen werden, dass Gelb und Blau vom Xanthokyanopen anders empfunden werden als vom Farbentüchtigen.

b) Roth und Blau.

326° Roth + 34° Blau = 15° Weiss + 345° Schwarz.

Diese 34° Blau sind zu viel, um nur das Gelb im Roth aufzuheben. Das, was Herr X. grau sieht, ist dem Farbentüchtigen nicht reines Roth, sondern ein ausgesprochenes Rothblau.

c) Grün und Blau.

225° Grün + 135° Blau = 105° Weiss + 255° Schwarz.

Der neutralgraue Ring, der sich für Herrn X. aus Grün und Blau herstellen lässt, ist ein ausgesprochenes Grünblau. Ein farbentüchtiges Auge, d. h. ein solches, das alle Farben im Spectrum sieht und das dieses Grünblau als reines Grün sehen würde, wäre mit einer besondern Anomalie behaftet und müsste als etwas Besonderes angesehen und beschrieben werden.

Aus den drei letzten Gleichungen folgt, dass sich für den Xanthokyanopen aus Gelb und Blau ein Grau zusammensetzen lässt, wie für den Farbentüchtigen, dass ausserdem Rothblau und Grünblau die Graufarben des Xanthokyanopen sind.

Die hochgepriesene Wissenschaftlichkeit dieser Untersuchungen mit dem Farbenkreisel habe ich nie begreifen können. Ich spreche gar nicht von den eben aufgestellten Gleichungen, die ja ein Hohn auf die Wissenschaft sind, da ich aus dem Weiss und Schwarz ein Neutralgrau für den untersuchten Xanthokyanopen nicht zusammensetzen konnte und es nur seiner besondern Intelligenz zu verdanken ist, dass er dem aus den Farben zusammengesetzten Grau ein in Betreff der Helligkeit, aber nicht in der Farbe gleiches Grau aus dem Gelbschwarz und dem Gelbweiss an die Seite setzen konnte.

Aber auch davon ganz abgesehen, erhalte ich mit dem Farbenkreisel keine wissenschaftlichen Resultate. Denn wissenschaftliche Resultate muss man controliren können. Ich kann aber die Angaben früherer Autoren im Allgemeinen nicht controliren, weil ich nicht weiss, mit welchen Papieren sie untersucht haben. Das schwarze Papier, von dem die Rede ist, ist dasselbe, das Hering zu seinen Versuchen verwendet. Es ist ihm nicht entgangen, dass dieses Schwarz ein „röthlichgelbes Licht" aussendet.[1]) Das scheint mir eine nicht unwichtige Thatsache.

Ich bin weit entfernt davon, die Prüfungen am Farbenkreisel mit Goethe als „Schwungrads-Possen" zu bezeichnen, aber da die Papiere so sehr differiren, dass z. B. die früher (pag. 60) für meine Augen angeführte Gleichung in dieser Form durchaus nicht für jene Papiere giltig ist, mit denen die letztangeführten Gleichungen hergestellt wurden, so möchte ich, wenn man Farbenmischungen vornehmen und dabei das hohe Ross der Wissenschaft tummeln will, doch anrathen, solche Mischungen ausschliesslich mit Spectralfarben auszuführen.

Allerdings ist auch mit dem Farbenkreisel in sehr mühseliger Weise das herauszubringen, was uns interessirt, dass nämlich Purpur und Blaugrün die Graufarben des Xanthokyanopen sind, aber mehr über die genaue Constitution dieses Purpur und Blaugrün erfahre ich dabei nicht, als wenn ich z. B. aus grauen Wollen ein möglichst reines Grau heraussuchen lasse und nun sehe, welche purpurnen und blaugrünen Wollen der Xanthokyanop mit dieser grauen Wolle identisch erklärt.

---

§ 10. Praktische Farbenprüfung.

All' die genannten Untersuchungsmethoden sind, wie schon früher (pag. 72) angedeutet, recht schön und gut, wenn es sich um intelligente und willige Xanthokyanopen handelt, d. h. um solche Farbenblinde, die in der Ergründung ihres Fehlers dem

[1]) Hering: Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinns, pag. 32, Anmerkung. 1885.

Untersucher auf jede Weise behilflich sein wollen. Das sind die Individuen, die der Physiologe ausschliesslich brauchen kann.

Anders ergeht es dem praktischen Augenarzte. Seine Aufgabe ist eine ganz andere. Er kann auch zufällig einen harmlosen Farbenblinden entdecken, oder es stellt sich ihm ein Farbenblinder mit der Bitte vor, man möge seinen Fehler möglichst rasch curiren, da der Rathbedürftige dieses Fehlers wegen nicht zum Eisenbahndienste oder nicht zur Marine zugelassen oder von dem Maler (nebenbei bemerkt, gibt es genug farbenblinde Maler), in dessen Atelier er lernte, oder von dem Farb- oder Modewaarenhändler, in dessen Geschäft er thätig war, entlassen wurde, weil z. B. in letzterem Falle die Kunden nicht zu bewegen waren, den vorgelegten rosafarbenen Stoff für den verlangten himmelblauen zu halten. In der Regel aber ist es die Aufgabe des Praktikers, Farbenblinde zu entlarven, die wie aus dem Gesagten zu ersehen, ihre guten Gründe haben, ihren Fehler zu verheimlichen, zu dissimuliren. Zu diesem Zwecke taugen alle die angeführten Untersuchungsmethoden sehr wenig. Dagegen verfolgen solche praktische Zwecke

Die pseudoisochromatischen Proben.

Dem Farbenblinden erscheinen gewisse unserem Auge differente Farben „fälschlich gleichfarbig“ (pseudoisochromatisch, Donders). Darauf gründen sich zwei verschiedene Erscheinungen. Das einemal wird nämlich der Farbenblinde eine Reihe von Farben als gleich bezeichnen, die es nicht sind, das anderemal wird er, wenn es sich um Erkennen von Buchstaben oder Zeichen auf einem farbigen Grunde handelt, dieselben überhaupt nicht sehen, wenn die Farben des Grundes und der Buchstaben (Ziffern, Zeichen u. s. w.) pseudoisochromatisch und gleich hell sind.

Die ersteren dieser pseudoisochromatischen Proben sind positive, weil sie sich auf positive Angaben des Untersuchten über Farbengleichheit beziehen und gestalten sich zu wirklichen Wahlproben, wenn man den Geprüften nicht sprechen, sondern die ihm gleich erscheinenden Farbenpaare herausgreifen lässt.

Die zweitgenannten Proben sind negative, denn sie fussen darauf, dass der Farbenblinde Zahlen oder Buchstaben, die auf dem pseudoisochromatischen Grund gedruckt sind, nicht liest.

I. Die positiven pseudoisochromatischen Proben.

a) Pseudoisochromatische Wollmuster.

Die Farbentafel von Dr. A. Daae in Kragerö (Norwegen). Hirschwald, Berlin, 5 Mark.

Die ursprüngliche Tafel enthält zehn horizontale Reihen, in jeder Reihe sieben Muster farbiger Wollen, (sodass also sieben Verticalcolonnen existiren), jedes Muster bestehend aus drei senkrecht nebeneinander stehenden Wollfäden von 13 Millimeter Länge. Nach Dr. Sänger, welcher die deutsche Ausgabe dieser Tafel besorgte, tragen die Horizontalcolonnen die arabischen Zahlen 1 bis 10 an ihrem Anfang, die Verticalcolonnen die Buchstaben A bis G an ihrer Spitze. Dadurch kann jede einzelne Probe gekennzeichnet werden. Probe 4C z. B. ist die dritte Probe in der vierten Horizontalreihe. Die Reihen 8 und 10 sind isochromatisch (oder wie ich mich hinzuzufügen beeilen will, für das farbentüchtige Auge isochromatisch), und zwar enthält Reihe 8 nur grüne Wollen, von denen A die hellste, G die dunkelste Nuance des Grün darstellt. Reihe 10 enthält nur rothe Wolle, beginnend mit der dunkelsten Nuance bei A, und bei G mit der hellsten endigend. Die anderen acht Reihen sind für das farbentüchtige Auge anisochromatisch (ungleichfarbig). Dem farbenblinden Auge jedoch könnten, wenn sein Spectrum monochromatisch oder achromatisch wäre, alle diese Reihen pseudoisochromatisch erscheinen; für das Auge mit dichromatischem Spectrum wird eine gewisse Zahl dieser Reihen pseudoisochromatisch sein, die anderen aber anisochromatisch, wie dem Auge mit polychromatischem Spectrum. Reihe 1 sowohl als Reihe 2 enthält gelbe und blaue (oder rosa) Farbentöne. Reihe 3: Roth, Orange, Grün und Braun; Reihe 4: Rosa, Purpur, Blaugrün, Blaugrau, Grau; Reihe 5: Grün, Braun, Roth; Reihe 6: Blau, Violet, Purpur; Reihe 7: Grün und Braun; Reihe 9: Blau, Rosa, Violet — einzelne der Farben, da jede Reihe 7 Muster enthält, in verschiedenen Nuancen.

Auf die Frage, ob Herr X. die einzelnen Reihen (ohne Rücksicht, ob die eine Probe heller oder dunkler sei wie die andere) gleichfarbig oder ungleichfarbig sehe, erfolgt die Antwort: Bei Reihe 1 und 2 scheine ihm die Frage scherzhaft gestellt — (natürlich, denn Blau und Gelb sind seine Leibfarben und die Anisochromasie ist schreiend). Dagegen erscheinen ihm alle übrigen factisch anisochromatischen Reihen 3, 4, 5, 6, 7, 9, gleichfarbig, von den zwei (uns) gleichfarbigen Reihen 8 und 10 jedoch nur Reihe 8 gleich-, Reihe 10 aber ungleichfarbig. Reihe 3 ist braun (mit Ausnahme von C, Fleischfarbe, welches bläulich ist). Reihe 4 durchwegs blau; Reihe 5 durchwegs braun; Reihe 6 durchwegs blau; Reihe 7 braun (alle Proben sind ganz gleich bis auf D, welches „lebhafter" ist — in der That ist D die gesättigteste grüne Farbe der Reihe); Reihe 8 braun; Reihe 9 blau. Die vollkommenste Identität zeigt die blaue Reihe 6 und die blaue Reihe 9.

Dieses Resultat stimmt im Allgemeinen mit dem, was wir über das Wesen der Xanthokyanopie bereits wissen. Drei scheinbar unklare Angaben geben nur den Beweis von dem ausgezeichneten Farbenunterscheidungsvermögen der Farbenblinden auf ihrem Gebiete, und zeigen zugleich die Fehler der Tabelle an, die uns mit unserem superioren Farbensinn entgehen.

3 C, welches roth sein soll und uns so erscheint, ist es sicher nicht, da es für bläulich und als in die braune Reihe nicht passend erklärt wurde. Dies ist auch der Grund, warum die gleichfarbige, rothe Reihe anisochromatisch erscheint, denn „A, B, C sind allerdings dunkelbraun und D, E schön braun, aber F und G sind bläulich". Und in der That ist Muster 10 G dieselbe Wolle, wie 3 C. (10 F kommt in den pseudoisochromatischen Reihen der Xanthokyanopie nicht vor). Endlich, dass die Reihe 4 für isochromatisch gehalten wird, rührt nicht daher, weil die blaugrünen und Purpurmuster grau (4 G) erscheinen (was nicht unmöglich wäre), sondern weil das Grau (4 G) bläulich ist, daher die ganze Reihe als blaue Reihe gekennzeichnet wird.

Es soll hier auch gleich bemerkt werden, dass von jenen Autoren, welche die Xanthokyanopie als Grünblindheit und als Rothblindheit trennen, Reihe 3 und 4 als die Verwechslungsreihen der Grün-, Reihe 5, 6, 7, 9 als jene der Rothblinden

angesehen werden. Unser Xanthokyanops sieht aber alle diese Reihen gleichfarbig.

In praktisch vollkommenerer Weise ist die Probe Daae's so anzustellen, dass man die Tafel in ihre 10 Horizontalreihen zerschneidet und nun den zu Prüfenden auffordert, die gleichfarbigen Reihen herauszusuchen, dann aber die gleichfarbigen Reihen wieder zu sortiren. So erhält man neben den ungleichfarbigen Reihen gleichfarbige gelbe (braune) und gleichfarbig blaue Reihen. v. Reuss hat die Reihen auf gesonderte Täfelchen sticken lassen und namentlich die der gleichfarbigen vermehrt. Wir werden hören, wie mit Hilfe solcher passend hergestellter Täfelchen ein treffliches Mittel der Diagnose geliefert wird.

b) Pseudoisochromatische Wollrollen.

Donders (28. Dezember 1878) lässt durch Roth- und Grünblinde je das „Wollenpaar" heraussuchen, das identisch erscheint, und gelangt so auf demselben Wege wie Daae zur Sammlung von Proben für Farbenblinde, nur mit dem Unterschiede, dass Daae in seiner Tafel drei gelbe Verwechslungsfarben: roth, grün, braun, und drei blaue Verwechslungsfarben: purpur, blau, violet zusammenstellt. Jedes der pseudoisochromatischen Paare wird auf ein Holzbrettchen aufgerollt, so dass eine der Farben den Grund bildet, während die andere nur unter der Form von zwei oder mehreren, aus je zwei Wollfäden zusammengesetzten Streifen auf dem farbigen Grunde erscheint. „Derjenige, welcher auf einer dieser Proben die Zahl der Streifen nicht anzugeben und zu zählen vermag, hat einen mangelhaften Farbensinn". In dieser Art sind jedoch derartige Proben nur in sehr mühseliger Weise oder gar nicht zu verwenden, da, wie ja Donders natürlich auch weiss, „die Zahl der Streifen" auch von dem Prototyp eines Gelbblausichtigen „angegeben und gezählt werden kann" trotz der vollkommensten Gleichheit des Farbentons wegen Ungleichheit der Helligkeit. Es kann sich, wenn man auch eine grosse Zahl nicht blos pseudoisochromatischer, sondern auch gleich hellerscheinender Muster empirisch bestimmt hat, doch ereignen, dass in einem neuen Falle kein Muster sich findet, in dem die Streifen der gleichfarbigen Wolle nicht durch differente Helligkeit erkannt würden — so

sehr schwankt (denn darauf führe ich die Erscheinung zurück) für den Farbenblinden das Gewicht der Empfindungen für die durch Strahlen verschiedener Wellenlänge hervorgerufenen Farbeneindrücke.

Dagegen könnten die pseudoisochromatischen Wollrollen Donders' in der Art Verwendung finden, dass man unter die dem Xanthokyanops pseudoisochromatischen Proben auch solche gibt, die wirklich gleichfarbig in zwei verschiedenen Nuancen und solche, die es auch ihm nicht sind; und dass man den Farbenblinden nunmehr anweist, die gleichfarbigen Muster ohne Rücksicht auf etwa differirende Helligkeit herauszusuchen. Man erläutert dies zuerst an einer wirklich gleichfarbigen Rolle. Es ist ein Fehler von Daae's Tafel, dass sie nur Roth und Grün, die der Gelbblausichtige nicht unterscheiden kann, und nicht auch Gelb und Blau, die er unterscheidet, in gleichfarbigen Reihen enthält. Man nimmt also eine Rolle, welche als Grundfarbe Blau und als Streifen ein helleres Blau oder eine solche, die Gelb auf Gelb in zwei verschiedenen Nuancen enthält. Der Polychromatiker sowohl wie der Dichromatiker mit gelbblauem Spectrum begreift vollkommen, dass es sich um dieselbe Farbe in zwei verschiedenen Nuancen handelt. Das farbentüchtige Auge wird nun die rothen, grünen, blauen, gelben u. s. w. Rollen als gleichfarbig herauslegen, der Gelbblausichtige aber mit der grössten Gemüthsruhe ausserdem noch Rollen als gleichfarbig heraussuchen, die Roth auf Braun, Grün auf Braun, Roth auf Grün, Blau auf Violet, Rosa (Purpur) auf Blau, Rosa (Purpur) auf Violett, Rosa auf Blaugrün, Rosa oder Blaugrün auf Grau und vice versa gewickelt sind. Er wird dagegen Rollen bei Seite liegen lassen, in welchen eine gelbe Farbe (Roth, Orange, Gelb, Grün, Braun) über eine blaue (Blau, Violet) hinzieht.

c) Pseudoisochromatische Pulverproben.

Statt verschiedenfarbiger Wollen, die auf Streifen neben einander stehen, oder auf Rollen über einander gewickelt werden, kann man auch pseudoisochromatische Pulverproben zusammensetzen. Sie haben von den Wollobjecten den sofort greifbaren Vortheil, dass sie nicht wie letztere durch Abnützung zu Grunde gehen, andererseits bei längerer Nichtbenützung nicht ein Raub

der Motten werden, wie dies den Wollen passiren kann. Das Princip dieser Pulverproben liegt darin, dass man in einzelnen Gläschen einerseits Pulver gleicher Farbe, jedoch in zwei Nuancen über einander schichtet, andererseits verschiedenfarbige nimmt und dabei die Verwechslungsfarben berücksichtigt. Es enthält also eine Sammlung solcher Proben Gläschen mit: zwei Blau; zwei Gelb; zwei Roth; zwei Grün; Roth und Braun; Carmin und Braun; Grün und Braun; Roth und Grün; Blau und Violet; Rosa und Violet; Blaugrün und Rosa; Blaugrün, sowie Rosa und Grau; dann noch Combinationen von Roth, Orange, Gelb und Grün einerseits mit Blau und Violett andererseits. Analog der Prüfung mit den Wollrollen wird der zu Prüfende belehrt, dass sich in den Gläsern gleich- und ungleichfarbige Pulver befinden, und wird die Gleichartigkeit an den Gläsern mit zwei blauen, gelben, rothen, grünen Pulvern demonstrirt. Aufgefordert, die Gläser mit zwei gleichfarbigen, wenn auch vielleicht ungleich hellen Pulvern herauszusuchen, wird sich der Xanthokyanops durch die bekannten Verwechslungen ungemein rasch verrathen.

d) Pseudoisochromatische Farbenfelder.

Man kann die Verwechslungsfarben malen lassen. Holmgren hat als Leitfaden für den Prüfer eine Verwechslungstafel publicirt, welche als Probe- oder Musterfarben Lichtgrün, Purpur, Roth enthält; als Verwechslungsfarben für Lichtgrün: Graugrün, Braun, Gelblich, Fleischfarbe (Weisslichroth), Rothgrau; für Purpur einerseits Dunkelblau und Violet, andererseits Grau und Grün; für Roth einerseits ein dunkleres, andererseits ein helleres Grün und Braun.

Herr X. erklärt das Lichtgrün der ersten Probe mit den fünf Verwechslungsfarben identisch. Das Purpur der zweiten Probe ist Blaugrau, wogegen die Verwechslungsfarben Dunkelblau und Violet als „Hochblau" bezeichnet werden. Das Grau ist dem Purpur identisch (wiederum nicht etwa, weil Purpur grau erscheint, sondern weil das Grau Blaugrau ist); Grün hingegen ist bräunlich. Das Roth der dritten Probe ist mit den Verwechslungsfarben identisch, die Farbe ist Braun. Der Helligkeit nach folgen: als dunkelstes Braun: Roth und Dunkelbraun, heller ist Dunkelgrün, noch heller das lichtere Braun, am hellsten das lichtere Grün.

Stilling hat die entsprechenden Verwechslungsfarben zum Theile von einem farbenblinden Maler herstellen lassen. Zuerst (1878, Prüfung des Farbensinns) hat er für den Rothgrünblinden in an einanderstossenden Quadraten dargestellt: 1. Dunkelroth und Dunkelbraun; 2. Rothbraun und Dunkelgrün; 3. Grün und Braun; und ausserdem noch 4. eine Probe mit drei Quadraten: Grüngrau, Grün, Dunkelviolet. Diese letztere hat Stilling später (1879, Knapp's Archiv VIII, 1) weggelassen, dafür eine Verwechslungsreihe Blaugrün, Grau, Purpur gegeben.

1880 hat Stilling 2 Tafeln drucken lassen, in welchen ersichtlich gemacht wird, wie von Farbentüchtigen und wie von Farbenblinden die Farbenreihe, die mit Roth beginnt und durch Orange, Gelb, Gelbgrün in Grün, Blaugrün, Blau, Purpur übergeht, gesehen wird.

Herr X. erklärt die Proben 1, 2, 3 der erstgenannten Tafel für gleichfarbig: Braun; 1 enthält zwei vollkommen identische Quadrate; in 2 und ebenso in 3 ist das eine Braun (beidemal das factische Grün) lichter. Die Reihe Blaugrün, Grau, Purpur ist Grau, doch ist nur Grau wirklich Grau, während Blaugrün Gelblichgrau und Purpur Bläulichgrau erscheint.

Die Tafel des Xanthokyanopen (1880) erkennt Herr X. an. Leicht begreiflich! Denn Roth und Grün sind da als Braun, Gelb und Blau als Gelb und Blau, Blaugrün und Purpur als Grau gemalt. Unbegreiflich ist nur, wie Jemand, der für Roth und Grün blind wäre, Blaugrün und Blauroth (Purpur) Grau sehen könnte.

Wenngleich durch die Erklärung, dass das brennende Roth auf Holmgren's Tafel in Ton und Nuance identisch ist mit der Verwechslungsfarbe Braun und auch identisch mit dem Dunkelgrün der Xanthokyanops sich unwiderleglich documentirt und jede weitere Prüfung überflüssig erscheint, so wird man doch, um unzweifelhafte Resultate zu bekommen, auch diese pseudoisochromatischen Farbenproben, falls man sie zur Diagnose verwenden will, so anstellen, dass man farbige Papiere (oder Stoffe) etwa in quadratischen Stücken je zwei und zwei nach den früher besprochenen Principien auf einzelne Blätter aufklebt, und dann ebenso verfährt, wie mit den Rollen oder den Pulvern.

II. Die negativen pseudoisochromatischen Proben.

Dieselben können objectiv und subjectiv sein.

a) Objective pseudoisochromatische Tafeln.

Um dem Farbenblinden, so zu sagen, jeden activen Einfluss auf das Maskiren seines Fehlers zu benehmen, hat Stilling auf eine Grundfarbe Buchstaben oder Zeichen in der Verwechslungsfarbe drucken lassen. Wer die Buchstaben nicht lesen, die Zeichen nicht erkennen kann, ist farbenblind. Stilling hat zuerst (1876, Beiträge zu der Lehre von den Farbenempfindungen) eine Tafel erscheinen lassen, bedruckt mit vier rechteckigen farbigen Feldern, in jedem Felde andersfarbige Buchstaben. Die drei ersten Felder sind zur Entdeckung der Rothgrünblindheit bestimmt: Dunkelgrüner Grund mit rothen Buchstaben; Brauner Grund mit grünen; Rothbrauner mit rothen Buchstaben.

Herr X. erklärt, dass in der That in allen drei Feldern Grund und Buchstaben dieselbe Farbe: Braun haben. Aber in allen drei Feldern werden die Buchstaben prompt gelesen, im ersten Feld, weil sie viel dunkler, im zweiten, weil sie bedeutend lichter sind als der Grund; im dritten endlich, weil sie, wiewohl sie sich weder in Farbe noch in Helligkeit vom Grunde unterscheiden — glänzen; wesshalb sie auch unsichtbar werden, sobald bei einer gewissen Haltung der Tafel der Glanz verschwindet. Das vierte Feld, zur Entdeckung der Gelbblaublindheit bestimmt und grüne Buchstaben auf dunkelviolettem Grunde enthaltend, wird als „Braun auf Indigo“, also als verschiedenfarbig bezeichnet.

Stilling hat die Tafeln dann (1877) in der Art verbessert, dass er den Grund aus Quadraten von derselben Farbe, aber verschiedener Helligkeit herstellte und nun die Form des Buchstaben auf diesem Grunde durch andersfarbige, nicht zusammenhängende Quadrate characterisirte. In dieser Ausgabe: „Die Prüfung des Farbensinns beim Eisenbahn- und Marine-Personal, mit 3 Tafeln“ enthält die erste Tafel vier rothe Buchstaben auf grünem Grund, die zweite vier rothe Buchstaben auf braunem Grund, die dritte ein blaugrünes Kreuz auf violettem

gleichzeitig, dass er sie factisch nicht sehe, dass er sie nur aus einer Ecke, einem „Zipfel“ u. s. w., errathen habe. Auf Tafel 2 und 3 wird von Buchstaben und Zeichen absolut Nichts erkannt.

In einer späteren Ausgabe: „Die Prüfung des Farbensinns Neue Folge, 1. Lieferung, 1878“ sind die Tafeln für die Rothgrünblindheit von gelblichem Grunde. Auf diesem ist die eine Verwechslungsfarbe, helleres und dunkleres Braun in lauter isolirten Quadraten aufgetragen, zwischen denen in isolirten rothen Quadraten die Buchstaben oder Zeichen erscheinen. Die erste Tafel enthält die Buchstaben T, L, F, H; die zweite: D, O, E, B. Die Buchstaben der ersten Tafel sind für das Normalauge leichter zu erkennen, als die der zweiten. Herr X. liest sofort die Buchstaben T, L, H der ersten Tafel, „weil sie dunkler sind“; das F erkennt er nicht. Auf der zweiten liest er D, hält O für P, liest auch E und B, erklärt jedoch, dass er die beiden letzten Buchstaben nur errathen habe.

Stilling hat seine Tafeln allmälig verbessert. 1889 ist der „ganzen Folge neunte“ Auflage mit 10 Tafeln erschienen. Der Grund, sowie die eingedruckten pseudoichromatischen Ziffern sind aus einzelnen unregelmässigen Flecken zusammengesetzt.

Auf Tafel I (Ziffern aus rothen und gelbrothen Flecken auf braunem fleckigem Grund) las Herr X. nach einigem Nachdenken alle vier Ziffern. Mit Tafel II (auf welcher zweiziffrige Zahlen mit denselben Farben wie auf Tafel I, jedoch um 90° gedreht sich finden) weiss Herr X. anfänglich nichts zu beginnen. Erst auf die Auskunft, dass es sich um arabische Ziffern handle, dreht Herr X. die Tafel und liest von der Ziffer 26 den Sechser und erst auf die Bemerkung, dass zwei Ziffern da seien, die Zahl 26. Die Zahl 67 wird rasch erkannt, dann auch 43, die Zahl 52 wird, wie Herr X. sich ausdrückt, „errathen“. Auf Tafel III, IV, V, VII wird nichts erkannt. Tafel VIII, die für den Gelbblaublinden, Tafel X, die für Simulanten bestimmt ist, wieder sofort gelesen. Eine besondere Erwähnung verdienen noch die Tafeln VI und IX. Die Tafel VI enthält die Verwechslungsfarben Grün und Braun; trotzdem werden die Ziffern mit grösster Leichtigkeit erkannt. Es rührt dies daher, weil die grünen Ziffern Herrn X. viel heller erscheinen als der braune Grund; von Tafel VII dagegen liest Herr X., wiewohl grell-rosa

Ziffern auf blaugrauem Grunde stehen, keine einzige derselbe[illegible]
Stilling benützt in der That die beiden Tafeln VI und VII, u[illegible]
die sogenannten Grünblinden von den sogenannten Rothblinde[illegible]
zu unterscheiden. Der „Grün"blinde (pag. 75), der Roth hell[illegible]
sieht als Grün, soll Tafel VI nicht lesen, wohl aber Tafel VI[illegible]
während beim Rothblinden das entgegengesetzte Verhalt[illegible]
hervortritt.

Von Tafel IX endlich sagt Stilling: „Wer vorgiebt, rot[illegible]
grünblind zu sein, muss Tafel IX entziffern, wo nicht, ist da[illegible]
der Beweis der Simulation geliefert." Herr X. liest zwar [illegible]
beiden Ziffern 49 und 85, nicht aber 63 und 27, die er für [illegible]
und 37 hält.

Um Stilling's Princip besser zu verwirklichen, hat s[illegible]ch
Cohn (1878) Buchstaben und Ziffern auf pseudoisochromatisch[illegible]m
Grunde mit Wolle sticken lassen. Die Farben der Woll[illegible]n,
welche für Grund und Inhalt hier in Betracht kommen, s[illegible]nd
uns hinlänglich bekannt, sie werden vollkommen ersichtlich [illegible]us
den Reihen 3, 4, 5, 6, 7, 9 der Tafel Daae's. Damit aber die
Buchstaben und Ziffern wirklich nicht erkannt werden, müssen die
beiden Farben genau dieselbe Helligkeit haben. Cohn macht
ferner darauf aufmerksam, dass die Wolle für den Buchstaben
dieselbe Stärke haben solle wie für den Grund, sowie dass es,
damit nicht Niveauunterschiede die Zeichen kenntlich machen,
nöthig sei, die Proben nach dem Sticken gut pressen und plätten
zu lassen. Cohn lässt seine Buchstaben und Ziffern mit 2 Centimeter Höhe auf Canevasstücke von 4 Centimeter Seite sticken.

Grossmann hat (1888) die Stickmethode Cohn's wieder
aufgenommen. Auch hat derselbe Buchstaben aus Glasmosaik
auf pseudoisochromatischem Glasgrunde hergestellt. Dieselben
werden von einer hinter der Glastafel angebrachten Lampe
beleuchtet.

b) Subjective pseudoisochromatische Tafeln.

Werden auf ein bestimmtes Purpur Buchstaben von b[illegible]
stimmter blaugrüner Farbe gedruckt, so wird es Xanthokyanop[illegible]
geben, die diese Buchstaben nicht lesen können. Drucke [illegible]
auf ein Purpurpapier graue oder schwarze Buchstaben und de[illegible]
ich das Blatt mit einem Florpapier, so kann ich die Buchsta[illegible]

die durch Contrast gelblichgrün erscheinen, durch das Deckpapier hindurch lesen. Erscheint jedoch dem Xanthokyanopen das Grundpapier grau, so entsteht beim Decken kein farbiger Contrast der Buchstaben, so dass nunmehr ein in toto graues Blatt durch Florpapier gedeckt ist und von dem Lesen der Buchstaben keine Rede sein kann.

Pflüger hat nach dem genannten Principe Tafeln herstellen lassen, die 1880 in erster und 1882 unter dem Titel: „Methode zur Prüfung des Farbensinnes mit Hülfe des Flor-Contrastes“ in zweiter Auflage erschienen sind. Gleich die erste Tafel Pflüger's ist eine Purpurtafel. Cohn sagt 1892: „Pflüger hat ganz Recht, wenn er in der Vorrede zur 2. Auflage seiner Tafeln schreibt: Roth und Grün kommen unter den Pigmenten immer mit mehr oder weniger Gelb gemischt vor, daher dieselben vom Rothgrünblinden als schmutziges Gelb, als Gelbbraun empfunden werden. . . . Man muss also das Gelb im Roth und Grün durch Blau neutralisiren. . . . Auf diesem Principe beruhen die vorliegenden Tafeln, die den Meyer'schen Florcontrast praktisch verwerthbar machen“.

Nein! Pflüger hat nicht recht, wenn er behauptet, dass seine subjectiven pseudoisochromatischen Tafeln, wie ich sie nenne, auf diesem Principe beruhen, so wenig als die objectiven pseudoisochromatischen Tafeln, wie ich jene Stilling's nenne, nach diesem Principe construirt sind, wie Stilling meint. Nach dem Principe von Pflüger und Stilling müssten ihre „neutralisirten“ Farben dem farbentüchtigen Auge als das reinste Roth und das reinste Grün erscheinen, aber in Wirklichkeit erscheinen diese „neutralisirten“ Farben jedem farbentüchtigen Auge als ein sehr blaues Roth und ein sehr blaues Grün. Ein Auge, das die Grau-Farben des Xanthokyanopen für reines Roth und reines Grün halten würde, könnte, wie wir wissen, unmöglich als farbentüchtig bezeichnet werden. Wenn aber schon sowohl Stilling als Pflüger sehr unrecht haben, die Behauptung aufzustellen, dass ihre Tafeln nach dem Principe der Roth-Grün-Blindheit construirt sind, indem dieselben vielmehr auf der Thatsache der Purpur-Blaugrün-Blindheit fussen, so hat noch viel mehr unrecht Hermann Cohn, Pflüger's Princip zu citiren, da er selbst die erste Tafel Pflüger's, die er als das beste Mittel zur

Entdeckung der Farbenblindheit bezeichnet und daher auch in seiner „Hygiene des Auges" abdruckt, als Purpur-Papier bezeichnet und von der Schwierigkeit spricht, die richtige Nuance des Purpur-Papiers im Drucke herzustellen. Begreift Hermann Cohn nicht, dass wenn Pflüger diese Tafel wirklich nach dem von ihm verfochtenen Principe, und nicht vielmehr nach den Principien, die in dieser Schrift erörtert sind, hergestellt hätte, diese erste Tafel Pflüger's in dem reinsten, grellsten, gesättigtesten, schreiendsten Roth erscheinen müsste, während thatsächlich kein menschliches Auge, ob farbentüchtig oder rothgrünblind, existirt, das dieses Purpur für ein reines Roth halten würde.

Herr X. liest durch das Florpapier keinen einzigen Buchstaben der 1. Pflüger'schen Tafel (der 2. Auflage), dagegen in der (dieser Tafel nachgebildeten) Cohn'schen Tafel die 3 ersten Reihen und nur die beiden letzten nicht. Ebensowenig entziffert X. die Buchstaben der 2. Tafel, die ebenfalls auf Dunkelpurpur gedruckt sind. Auch die 3. Tafel, welche dunkelroth ist, kann Herr X. mit seinem verkürzten Spectrum nicht lesen, ebensowenig die ganz analoge Tafel 4. Dagegen liest er die folgenden Tafeln: Orange und Gelb, sowie mit allergrösster Leichtigkeit die sich anschliessenden drei grünen Tafeln, und selbstverständlich die darauf folgende blaue Tafel. Die letzte, dunkelviolette Tafel kann er nicht entziffern. Das habe aber auch bei der gleichen Beleuchtung nicht zu Stande gebracht, sowenig, als ein anderes farbentüchtiges Auge es vermochte. Es kann sein, dass in meinem Exemplar das Florpapier dieser Tafel zu dick gerathen ist. Man muss sehr gutes Licht suchen, um wenigstens einen Theil der Zeichen erkennen zu können. Bei einer solchen Beleuchtung leistet ein xanthokyanopisches Auge dasselbe wie ein farbentüchtiges, was übrigens selbstverständlich ist, da das Violett dem Gelbblausichtigen blau erscheint.

Die Wahlproben.

Unter der Bezeichnung „Wahlproben" habe ich alle diejenigen Proben zusammengefasst, bei denen dem zu Prüfenden eine

Farbe vorgelegt wird, zu welcher er die ihm gleich oder ähnlich erscheinenden Farben wählen muss.

Indem man ihn auffordert, farbige Papiere, Wollen, Pulver, Tuche, Stifte zu sortiren oder zu einer ihm vorgelegten Farbe die analogen herauszusuchen, überlässt man es der freien Wahl, uns über den Farbensinn Kunde zu geben. Die Untersuchung mit dem Spectrum, den Metalllinien und dem Simultancontrast ist, sobald man sich nicht auf die Angaben des geprüften verlässt, sondern diese Angaben durch Wahl farbiger Objecte controlirt, einfach eine Combination der einen mit der anderen Probe.

a) Holmgren's Probe mit farbigen Stickwollen, anzustellen an einer Auswahl von Wollen mit den Grundfarben und zahlreichen Farbentönen, sowie von Nuancen des Grau (für 5,50 Mark zu beziehen durch P. Dörffel, Unter den Linden 46, Berlin). Zuerst wird ein lichtgrünes Wollbündel vorgelegt. Derjenige, welcher zu diesem Muster ausser grünen Wollen eine oder mehrere der früher erwähnten Verwechslungsfarben, also graugrün, braun, gelblich, fleischfarben, grauroth hinzulegt, ist farbenblind. Da Holmgren Roth- und Grünblindheit unterscheidet, so ist noch festzustellen, ob der Farbenblinde rothblind oder grünblind ist. Dazu wird ein purpurfarbiges Wollbündel (in Daae's Tafel 6c) verwendet. Wer zu Purpur ausser Purpur Blau und Violett legt, ist Rothblind; wer aber ausser Purpur Grün und Grau dazu legt, ist Grünblind. Die dritte Probe, „lediglich Controlprobe“, besteht darin, dass man ein lebhaft rothes Wollbündel vorlegt. Der Rothblinde wählt (ausser Roth) Nuancen von Grün und Braun, die dem Normalsehenden dunkler, der Grünblinde Nuancen derselben Farben, die dem Normalsehenden heller erscheinen, als das Proberoth.

Herr X. besteht die Probe in folgender Weise:

Zu Lichtgrün legt er einfach alle gelben Wollen, also rothe, rothbraune, grüne, braune, da alle diese Wollen wie die Musterfarbe Nuancen von Gelb sind. In Betreff der rothen Wollen macht er die interessante Angabe, dass er ganz gut wisse, dass diese Wollen roth seien, wiewohl sie dieselbe gelbe Farbe wie die anderen Wollen hätten, aber er erkenne sie an der Eigenheit des Materials, indem alle rothen Wollen stärker glänzen, als die anderen.

Zu Purpur legt er drei andere Purpur, aber auch Violett und Blaugrün.

Die Probe mit Roth weist er zurück, da es ja dieselbe Probe wie mit Lichtgrün sei und er doch wieder nur die gelben Wollen zusammenlegen könne.

Holmgren sagt: Der Rothblinde verwechselt Purpur mit Blau und Violett, ein Farbenblinder aber, „welcher Purpur mit Grau oder Grün (Blaugrün) oder beiden verwechselt, ist grünblind, er mag, sich sonst verhalten wie er will.“ Da Herr X. X. Purpur mit Violett verwechselt, wäre er eigentlich rothblind; da er aber Purpur auch mit einem gewissen Blaugrün verwechselt (was er ja selbstverständlich thun muss, da Purpur und Blaugrün für ihn dieselben Farben, einerseits Blau, andererseits Gelb enthalten), so ist er nach Holmgren doch nicht rothblind, sondern grünblind, „weil es gleichgiltig ist, wie er sich sonst verhält.“

Cohn betrachtet die „Lichtgrünprobe“ als überflüssig, empfiehlt dagegen die „Purpur“probe als vortrefflich zur Voruntersuchung. Purpur enthält Roth und Blau; der Rothgrünblinde wird nur das Blau, der Gelbblaublinde nur das Roth sehen und so durch diese Vorprobe schon die verschiedene Art der Farbenblindheit entdeckt werden. Das ist nun allerdings theoretisch unrichtig, da der Rothgrünblinde, der ja bei unverkürztem Spectrum für Roth nicht blind ist, das Purpur ebenso Roth (Gelb) sehen kann, wie der Gelbblaublinde, der das Blau im Purpur Roth sieht.

Pertorelli, der (1887) gegen die Holmgren'schen Wollen den nicht unbegründeten Vorwurf erhebt, dass sie kein Orange enthalten, hat über 100 hölzerne Kugeln mit Wollen, auch orangefarbenen, überziehen lassen und dazu noch ein halbes Dutzend Würfel mit einer grössern Zahl von Farbentönen hergestellt. Im geistreicherer Weise hat Jeaffreson (1886) die Holmgren'sche Probe modificirt, indem er die 72 Wollbündel auf einer drehbaren Scheibe anbrachte und auf einer angrenzenden Platte die Probefarben befestigte. Der Untersuchte hat neben die Probefarbe z. B. Grün beim Drehen der Wollenscheibe die ähnlichste Wolle einzustellen. Stellt er z. B. Roth oder Braun daneben, dann ist er eben Xanthokyanop.

b) Zur eigentlichen Wahlprobe bedient sich Cohn nicht der farbigen Wollen, sondern „unveränderlicher farbiger Pulver, deren Ton und Nuance immer wieder aller Orten unter dem bestimmten Namen gekauft werden kann, und die in Fläschchen von rechteckigem Durchschnitt aufzubewahren sind". Cohn hat sich hiebei nicht an die Farben gehalten, die Helmholtz als den Spectralfarben entsprechend angegeben hat. Man kann seine Proben der Farbe nach eintheilen, wie folgt:

Rosa (Krapprosa), Purpur (Purpurlack, Cochenillecarmin), Roth (Zinnober, [es sei hier bemerkt, dass nach Brücke nicht Zinnober, sondern Cochenillecarmin Repräsentant des spectralen Roth ist]), Orange (Mennige), Goldgelb (Chromgelb), Grün (Schweinfurter Grün), Graugrün (Chromgrün), Blau mit einem Stich in's Grüne (Bergblau), Blau (Kobaltblau), Schwarzblau (Indigo), Lichtviolett (Ultramarinviolett), Dunkelbraun (Kasseler Braun), Weiss (Bleiweiss), Grau und zwar: a) Hellgrau: 100 Theile weisse Schlemmkreide (Weiss), 3 Theile Ebur ustum (Schwarz), 1 Theil Eisenoxyd (Roth), 1 Theil Ultramarin (Blau), b) Mittelgrau: 75 Theile Kreide, das Uebrige unverändert, c) Dunkelgrau: 50 Theile Kreide, das Uebrige unverändert; Schwarz (Pariser Schwarz, Knochenkohle).

Unter den angeführten, in Klammern stehenden Namen sind all' diese Farbstoffe in jeder Farbwaarenhandlung käuflich, aber keineswegs allerorten übereinstimmend.

Von jeder Farbe enthält die Sammlung zwei Fläschchen. Cohn stellt die Probe so an, dass jede einzelne Farbe vorgelegt und der zu Prüfende angegangen wird, den Namen der Farbe zu nennen und die gleichfarbigen Pulver aus der Sammlung herauszusuchen.

Herr X. gibt in Betreff der Originalfarben Cohn's folgenden Bescheid. Zunächst war es wichtig zu hören, was er von den drei Grau halte, da ja doch auf die Verwechslung der Farben mit Grau so viel Werth gelegt wird. Da belehrt uns denn der „Farbenblinde", dass das hellste Grau bläulichgrau, das dunkelste hingegen gelblichgrau sei, also eine ganz entgegengesetzte Farbe habe, und dass nur das mittlere Grau allenfalls für Neutralgrau angesehen werden könnte. Er erkennt das Weiss und Schwarz an. Alle übrigen Farben sind gelb oder blau.

Er bezeichnet: Purpurlack als Dunkelbraun,
Kasseler Braun als Braun, }
Carmin als Braun, } vollkommen identisch.
Zinnober }
Mennige } als gelbe Farbe,
Schweinfurter Grün }
Chromgrün als Gelbgrau,
Chromgelb als das einzige reine Gelb.

Es ist natürlich ganz gleichgiltig, welche von diesen Farben man als Musterfarbe wählt; stets werden die anderen gelben Farben dazugelegt. Aber als schöne Abstufungen derselben Farbe mit dem Uebergang in Schwarz werden bezeichnet: Schwarz, Purpurlack, Kasseler Braun, Carmin, Chromgrün, Schweinfurter-grün; eine andere Reihe, auch schön, wenngleich nicht ganz so schön, ist: Chromgelb, Zinnober, Mennige, Kasseler Braun, Carmin, Purpurlack, Schwarz. Im Purpurlack und Cochenillecarmin wird offenbar das Blau vom Roth überwogen, sonst könnten diese Farben nicht als Braun bezeichnet werden.

Dagegen gehört das Krapprosa zu den blauen Farben. Für die blaue Farbenreihe gibt es folgende Abstufung und Bezeichnung:

Weiss wird genannt . . .	Weiss,	
Hellgrau	Bläulichweiss,	fast identisch,
Krapprosa	Bläulichweiss (mit einem Stich mehr in's Blaue)	
Ultramarinviolett	Schön Blau,	
Kobaltblau	Wunderbar Blau,	
Bergblau	Schmutzig Blau,	
Indigo	Dunkelblau.	

Man weiss nicht, was für den Xanthokyanops mehr characteristisch ist, die Sicherheit, mit welcher Carmin, Braun und Grün, oder jene, mit welcher Krapprosa, Ultramarinviolett und Blau als dieselbe Farbe bezeichnet werden. Herr X. lobt übrigens die farbigen Pulver als Prüfungsmittel sehr gegenüber den Wollen, denn die Gleichheit der Oberfläche nehme bei den farbigen Pulvern jene Behelfe weg, welche die Wollen wegen der Ungleichheit der Oberfläche bei den verschiedenen Farben zulassen.

So erkenne er die rothe Wolle sofort, aber für die Röthe eines Pulvers habe er gar keine Anhaltspunkte.

c) Seebeck hat bereits 1837 farbige Papiere zu Wahlproben verwendet, indem er dieselben sortiren liess. Man kann in der That statt Wollen und Pulvern zur Probe z. B. die 72 Farbenkärtchen nehmen, welche Magnus seiner Tafel zur Erziehung des Farbensinns (1879) beigegeben hat. Sie enthalten doppelte Exemplare von Purpur, Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Braun, Grau in je vier verschiedenen Nuancen. Da die Kärtchen glänzen, muss man den zu Untersuchenden so sehen lassen, dass der Glanz nicht hervortritt. Schon beim Betrachten der Tafel von Magnus kann sich die Farbenblindheit sofort verrathen. Herr X. erklärt Gelb für Gelb, Blau und Violett für Blau. Braun, Roth, Orange sind Braun; dagegen erscheinen Purpur, Grün (offenbar Blaugrün) und Grau: Grau. Auch die einfarbigen Tuchmuster, wie sie bei den Tuchhändlern vorräthig sind, kann man verwenden, doch habe ich nicht gefunden, dass dieselben vor Wollen, Pulvern und Papier etwas voraus hätten.

d) Adler's Farbenstiftprobe (1891) ist eine Wahlprobe mit 98 farbigen Stiften in Naturcedernholz-Fassung (bei F. Fritsch, Alserstrasse 17, Wien, 16 Mark). Das Wesentliche der Probe liegt darin, dass man „das Untersuchungsresultat fixiren und beliebig lang aufbewahren kann", indem man mit den pseudoisochromatischen Stiften auf passendem Papier schreiben oder beliebige Zeichen herstellen lässt.

Die Idee an und für sich ist eine vortreffliche. Auf diese Weise könnte es gelingen, eine grosse Zahl farbiger Documente zu erlangen und genauere Schlüsse daraus hinsichtlich der Verwechslungsfarben zu ziehen. Aber auch gleichsam als gerichtliches Document, als ein Document „zum ewigen Gedächtniss", wie Adler sagt, kann ein solches Vermächtniss herangezogen werden, wenn ein Simulant oder Dissimulant in späterer Zeit zum Querulanten wird.

Leider haften der Methode einige Mängel an. Abgesehen von der Riesenarbeit Desjenigen, dem es obliegt, diese 98 Stifte zuzuspitzen, sieht das Heer der Stifte, das sich vor dem Zuspitzen so prächtig präsentirte, nach dem Zuspitzen recht jämmer-

lich aus, indem trotz der „vorzüglichen Güte der Fabricate“ die Stifte in verschiedenem Grade brüchig sind und so Riesen neben Zwergen stehen, dazwischen allerhand Mittelmass. Die Stifte, in einem kurzen Hohlcylinder aufgestellt, fallen mit ihren freien Enden pinselförmig auseinander, und für die Wahl ist es allerdings von Bedeutung, dass die farbigen Spitzen in gleicher Höhe sich finden, nicht kleine und winzige zwischen grossen sich bergen. Ein zweiter Nachtheil schien mir der, dass ich unter den 98 Stiften 10 gefunden habe, die auf dem der Probe beigegebenen Papier keinen hinlänglich kenntlichen Eindruck hinterlassen. Der wesentlichste Mangel aber liegt darin, dass die Farbe des Geschriebenen nicht identisch ist mit der Farbe des Stiftes, so dass, wenn ein Xanthokyanop etwa zu einem grünen Stifte als identisch rothe, grüne, braune Stifte herausgesucht hat, er die mit diesen Stiften vollbrachten Schriften nicht als gleichfarbig erklärt. Diese Differenzen zwischen Farbe der Stiftspitze und der Schrift sind für den Farbentüchtigen gleichfalls kenntlich, mitunter sogar überraschend.

Trotz der genannten Gebrechen ist die Adler'sche Probe, die Adler selbst nicht als Massenprobe, sondern als Control- und Detailprobe empfiehlt, interessant und für die Aufstellung der Paradigmen der Farbenblinden von Werthe. Auch Herr X. verräth, nachdem er die Hindernisse der Prüfung überwunden, seine Xanthokyanopie sowohl durch die als gleich oder sehr ähnlich bezeichneten Schriftzeichen in rother, oranger, grüner und brauner Farbe, wie andererseits durch die purpurnen, blaugrünen, violetten und blaugrauen Schriften, die er als nahezu pseudoisochromatisch zurückgelassen.

Farbige Gläser.

Cohn empfiehlt, die Farbenblinden durch farbige Gläser nach den verwechselten Farben blicken, ebenso die pseudoisochromatischen Buchstaben Stilling's durch farbige Gläser ansehen zu lassen. Diese Versuche haben ein dreifaches Interesse: 1) wird es mit ihrer Hilfe möglich, dem Farbenblinden Behelfe zu geben, durch welche er Farben zu unterscheiden vermag, die er zu unterscheiden früher nicht im Stande war; 2) werden Anhaltspunkte gewonnen, um Simulation der Farbenblindheit auf-

zudecken; 3) führen sie zur Entscheidung der Frage, ob (wie dies in neuerer Zeit behauptet wurde) Farbenblindheit heilbar sei.

Die Wirkung, welche das Betrachten der pseudoisochromatischen Pulver durch ein farbiges Glas für den Xanthokyanops haben muss, ist leicht verständlich. Ich nehme ein rothes und ein grünes Pulver und zwar Carminzinnober und helles Victoriagrün. Die beiden Farben haben, soweit man bei Verschiedenfarbigkeit über Helligkeit urtheilen kann, ungefähr die gleiche Helligkeit. Sehe ich jetzt durch mein rothes Glas nach den Pulvern, so tritt ein gewaltiger Unterschied hervor. Roth erscheint fast weiss, Grün fast schwarz (dunkelgrau). Das rothe Glas lässt die gelben und rothen Strahlen des Carminzinnober, aber nicht die grünen des Victoriagrün hindurch. Gesetzt, es würde ein Farbenblinder Carminzinnober und Victoriagrün als die gleichen Farben in gleicher Nuance sehen, könnte dieselben also absolut nicht unterscheiden, so wird er sie doch sofort trennen, sobald er durch ein rothes Glas hindurch sieht, da für sein Auge ein analoger Helligkeitsunterschied auftritt. Andererseits wird Jemand, der behauptet, dass er Carminzinnober und Victoriagrün als die gleiche Farbe sehe und dass er auch bei Vorsetzung eines rothen Glases noch immer keinen Unterschied zwischen den beiden Pulvern finde, als Simulant erkannt sein. Endlich wird uns der Farbenblinde darüber Aufschluss geben können, ob er durch ein farbiges Medium durchsehend, neue, bisher nicht gekannte Farbenempfindungen gewinne, denn dies müsste der Fall sein, falls, wie Delbeouf behauptet, auf solche Weise die Farbenblindheit geheilt, d. h. ein dichromatisches Spectrum in ein polychromatisches umgewandelt werden könnte.

Herr X. ist erstaunt, welche Aenderung die gelbe Reihe erfährt, wenn er sie durch ein rothes oder gelbes Glas oder durch eine (rothe) Fuchsinlösung betrachtet, denn Purpurlack und Carmin, früher so ähnlich, scheiden sich jetzt deutlich als „Braun“ und „Ockergelb“; und Kasseler Braun und Carmin, früher ganz identisch, sind jetzt mächtig differirend, indem Carmin viel heller erscheint, so hell wie Mennige ohne Glas. Braun und Grün sind sehr dunkel, Roth und Gelb heller.

Die blaue Reihe erfährt durch das (dunkel) rothe Glas

einen qualitativen Unterschied, denn Rosa erscheint jetzt sch...
gelb, die anderen Farben dunkel. Durch das gelbe (lichtere) Glas ist Rosa: Gelb, Ultramarinviolett: Kaffeefarben (Braun), die anderen bläulich.

Weder durch das rothe, noch durch das gelbe, ebensowenig durch grüne und blaue Gläser, auch nicht durch farbige Lösungen (Fuchsin, Nickelchlorür, Kupferoxydammoniak) erhält Herr X eine neue Farbenempfindung.

Wenn man die pseudoisochromatischen Tafeln Stilling's durch bestimmte farbige Gläser ansieht, so treten in Folge analoger Veränderungen die Buchstaben deutlicher hervor, indem sie entweder heller oder dunkler werden als der Grund. Sehe ich z. B. durch ein rothes Glas nach den rothen Buchstaben auf gelblichem Grunde, so werden die Buchstaben weiss und werden also auffallend kenntlich durch die Lücken im dunklen Felde. Viel schöner treten sie jedoch für mich hervor, wenn ich durch ein grünes Glas hindurchsehe, denn nun sind die Lettern dunkel auf hellem Grunde.

Herr X. erkennt durch ein rothes Glas rothe Buchstaben, auf rothem und auf grünem, wie auf braunem und gelblichem Grunde. Er zieht das Hellwerden der Buchstaben durch ein rothes Glas dem Dunkelwerden durch ein grünes vor.

Wenn Cohn ausspricht, dass jeder Farbenblinde, der bestimmte Stilling'sche Tafeln durch ein rothes Glas nicht erkennen zu können erklärt, Simulant sei, so stimme ich ihm hierin vollkommen bei.

Sehschärfe für farbige Buchstaben.

Snellen hat der englischen Ausgabe seiner Probebuchstaben eine Tafel mit fünf farbigen Reihen auf schwarzem Grunde beigegeben. Die Lettern haben die Höhe jener, welche Snellen später mit 6 Meter bezeichnet hat. Die Reihen haben die Farben: Purpur (Rosa), Gelb, Grün, Blau, Grau. Nur Gelb wird auf die gleiche Entfernung erkannt, wie Schwarz auf Weiss, die anderen Reihen aber erst in grösserer Nähe, und zwar auf 5 Meter Abstand, falls die gelben auf 6 Meter gelesen werden. Dabei ist es sehr frappant, dass die blauen Buchstaben aus der

Entfernung grün erscheinen und erst bei stärkerer Annäherung auf 6 Meter bläulich zu werden beginnen.

Herr X. hält die Buchstabenreihen: Rosa für Grau, Gelb für Gelb, Grün für Braun, Blau für Blau, Grau für Gelbgrau. Er liest (mit $V^6/_6$) die rosafarbenen auf 4, die gelben auf 7, die grünen auf $5^1/_2$, die blauen auf 5, die grauen auf $4^1/_2$ Meter.

Auch Stilling hat (1875) vier Tafeln mit farbigen Lettern: Roth, Grün, Braun (soll Gelb sein) und Blau auf schwarzem Grunde nach Analogie der Snellen'schen Probetafel, also mit Buchstabengrössen, die von einem Auge mit $V^1/_1$ auf 200 bis 20 Fuss gelesen werden sollen, herstellen lassen. Die Ausführung lässt viel zu wünschen übrig; schon der schwarze Untergrund ist auf allen vier Tafeln verschieden. Ein Auge mit $V^6/_6$ liest die braunen und blauen Buchstaben No. 20 (20 Fuss) auf 6, die rothen und grünen jedoch auf 5 Meter Abstand.

Herr X. erklärt die rothen, braunen und grünen Buchstaben für braun (wobei Roth das dunkelste, Grün das hellste Braun darstellt), die blauen für Blau. Er liest die braunen und blauen auf 5, die grünen auf 4, die rothen auf $2^1/_2$ Meter.

---

§ 11. Erythrochloropie.

Ehe wir, nachdem wir systematisch die wissenschaftlichen und die praktischen Prüfungsmethoden durchgesprochen, zur Beantwortung der Frage schreiten, in welcher Weise die Prüfung der Farbenblindheit am raschesten und sichersten vollzogen werden kann, müssen wir zunächst, da wir der Xanthokyanopie einen so breiten Spielraum gelassen, auch noch den anderen Farbensinnsstörungen ein Plätzchen gönnen.

Wir haben (pag. 64)

A. Das dichromatische Spectrum

zu besprechen begonnen, dem sich unter

B. Das achromatische Spectrum

(pag. 114) anschliessen wird.

Die eine Form der Anomalie mit dichromatischem Spectrum war

1) Die Xanthokyanopie (Gelbblausichtigkeit)

(pag. 64), von der bisher gehandelt wurde.

Als die andere Form ergibt sich

2) Die Erythrochloropie (Rothgrünsichtigkeit)
(Violettblindheit, Blaublindheit, Blaugelbblindheit)
(Akyanopsie, Akyanoxanthopsie).

Dieselbe würde, wenn sie vorkommt, und eine der Xanthokyanopie analoge Anomalie darstellt, dadurch bedingt werden können, dass sowie bei der Xanthokyanopie die Gegenfarben Roth und Grün dem Gelb coordinirte Nebenfarben geworden sind, nunmehr Gelb und Blau aufgehört haben, Gegenfarben zu sein, dass sie Nebenfarben geworden sind und zwar, soweit man aus den bisherigen Untersuchungen ersehen kann, dem Roth coordinirt. Eine Verkürzung des Spectrums läge demnach ebensowenig im Wesen dieser Anomalie, wie in dem der Gelbblausichtigkeit. Das Spectrum müsste zweifarbig erscheinen, aber dreigetheilt. Die Strahlen, welche im farbentüchtigen Auge die Empfindungen Roth, Orange und Gelb einerseits, Blau und Violett andererseits hervorrufen, werden im Auge des Erythrochlorops die qualitativ gleiche Empfindung des Roth erzeugen, so dass das Sonnenspectrum an beiden Enden in rother, am Orte des Grün in grüner Farbe erscheinen wird. Diese Dreitheilung des dichromatischen Spectrums ist nicht etwa gegen die Zweitheilung des dichromatischen Spectrums des Gelbblausichtigen essentiell verschieden, denn würde im Spectrum an das Violett sich noch Purpur anschliessen, d. h. würden die ultravioletten Strahlen in unserem Auge die Empfindung des Purpur hervorrufen, dann wäre auch das dichromatische Spectrum des Gelbblausichtigen dreitheilig, wie der Index Radde's (pag. 74). Andererseits kann es auch, wie wir sehen werden, eine Erythrochloropie geben, bei welcher das Spectrum ebenso zweigetheilt ist (nämlich roth und grün), wie bei der Xanthokyanopie, wo es gelb und blau ist.

Anfangs schien es, als ob die Erythrochloropie mit dreitheiligem Spectrum in der That vorkäme. Wenigstens hat Stilling (1878, Maiheft des Hirschberg'schen Centralblattes) einen solchen Fall beschrieben. Das Spectrum war unverkürzt. Die Farben waren vom rothen zum violetten Ende im Spectrum des Tageslichts: Roth, Grün, Grau. Wenn man jedoch ein lichtstarkes Spectrum herstellte, wurde Blau und Violett immer als Roth bezeichnet. Auch Cohn hat (1879) fünf Fälle als der reinen Gelbblaublindheit mit unverkürztem Spectrum zugehörig beschrieben. Ich vermag aber aus den confusen Angaben der Untersuchten nichts Bestimmtes zu entnehmen.

Stilling hat ferner und zwar, als er zuerst (1875) die Anomalie beleuchtete, bei den von ihm als Blaugelbblind Bezeichneten eine ganz colossale Verkürzung des violetten Endes des Spectrums bis zur Thalliumlinie, also bis weit in's Grün hinein, gefunden. Er äussert sich (1878) über die in Rede stehende Störung im Allgemeinen, wie folgt: „Blaugelbblindheit (Akyanopsie, Axanthopsie). Das Farbensystem besteht nur aus Roth und Grün, das Spectrum erscheint nur in diesen beiden Tönen, farbige Stoffe erscheinen Grün, Roth oder Grau, je nach dem Mengenverhältniss der reflectirten Lichtstrahlen. Das Spectrum kann so hochgradig verkürzt sein, dass selbst ein Theil der grünen Strahlen nicht einmal eine Lichtempfindung hervorruft. Es kann jedoch auch von normaler Länge sein, und erscheint in diesem Falle das spectrale Blau und Violett roth. Mit Grau identisch erscheint ein in's Grüne spielendes Gelb und ein röthliches Blau, wenn das Spectrum nicht verkürzt ist. Ist dasselbe hochgradig verkürzt, so erscheint auch ein ziemlich intensives Grün und Indigoblau identisch mit dunklem Grau. Im Vergleich zu der Blindheit für Roth und Grün ist die letzte Abart selten und bis jetzt auch noch nicht so genau untersucht worden." Stilling hat die Verwechslungsfarben für Blaugelbblinde auch durch Farbendruck ersichtlich gemacht (1879). Es sind dies Roth und Gelb einerseits, Blau (mit in einem Stich in's Rothe), Gelbgrün, Grau andererseits. Eigentlich ist nur die letzte Verwechslung charakteristisch. Roth und Gelb erscheint auch dem Rothgrünblinden als dieselbe Farbe, nur dass der Letztere beides Gelb, der Gelbblaublinde beides Roth sieht. Für eine identische Farbe erklärt aber der Rothgrünblinde das

Stilling'sche Muster doch nicht, sowenig als wir reines Gelb und Braun für *identisch* halten. Zuerst (1878) hat *Stilling* auch ein Feld: Blau, Grün, Schwarz als Verwechslungsfarben des Blaugelbblinden gemalt. Dies kann nur einen Sinn haben für Farbenblinde welcher Art immer mit einem von Violett bis in's Grün verkürztem Spectrum, denn ein Blaugelbblinder könnte doch *im Sinne Stilling's* nicht vermöge der Qualität seiner Anomalie die beiden Gegenfarben Grün und Blau i. e. Roth mit einander verwechseln. Auch pseudoisochromatische Buchstaben, zuerst Roth und Gelb, dann Bläulich und Gelblich, hat *Stilling* für die Erkenntniss der Erythrochloropie herstellen lassen. In der letzten Ausgabe der *Stilling*'schen Tafeln (1889) ist die Blaugelbblindheit sehr stiefmütterlich behandelt. Es ist ihr unter 10 Tafeln nur Eine (Tafel 8, Roth auf Lichtbraungelb) gewidmet.

Die Verwechslungsfarben für eine Erythrochloropie im Sinne *Stilling's* werden am deutlichsten ersichtlich aus *Daae's* Tafel. Hier sind in der letzten Ausgabe die zwei ersten Reihen der Blaugelbblindheit gewidmet. Die erste Reihe enthält: Weissgelb, Grau (Blaugrau), Grau (Gelblichgrau), Rosa, Blau, Orange, Violett; die zweite gelbe, rothe, braune, rosa Farbentöne. Jeder Rothgrünblinde wird mit Entrüstung die Zumuthung zurückweisen, dass er die Farben der ersten Reihe sollte verwechseln können. Die zweite wird der Rothgrünblinde im Allgemeinen auch als nicht isochromatisch bezeichnen, weil ihm 2 B und 2 D (Rosa) in der Regel blau erscheinen werden. Möglich wäre es aber doch, dass er sie für eine „gelbe Farbe“ hielte und dann erschiene ihm diese Reihe gleichfarbig.

Die Geschichte mit der Blaugelbblindheit ist übrigens nicht so einfach.

Bei der *Rothgrünblindheit* ist es gleichgiltig, welcher Theorie man huldigt, ob jener *Hering's*, die die zwei antagonistischen Farbenpaare annimmt, von denen das eine Paar bei Rothgrünblindheit fehlt; oder ob jener *Thomas Young's*, von der wir noch viel sprechen werden, bei welcher *drei* Grundfarben (Roth, Grün, Violett) existieren; oder ob der meinigen, die behauptet, dass im xanthokyanopischen Auge Roth wie Grün die Empfindung des Gelb hervorrufen: unter allen Umständen wird ein Auge, das als Rothgrünblind (*Hering*) oder als Rothblind einerseits, Grünblind andererseits (*Young-Helmholtz*)

oder als Gelbblausichtig (Mauthner) bezeichnet wird, die zwei Farben Roth und Grün verwechseln, Roth und Grün müssen nach jeder dieser 3 Theorien die gleiche Sehempfindung hervorrufen.

Ganz anders aber steht die Angelegenheit bei der sog. Gelbblaublindheit Hering's oder der sog. Blau- oder Violettblindheit von Young-Helmholtz. Wenn Gelb und Blau farblos gesehen werden, wird der Gelbblaublinde im Gelb und Blau des Spectrums einen farblosen Streifen sehen, es muss ihm das spectrale Roth als das reinste Roth und ebenso auch das spectrale Violett (Blauroth) als ein gesättigtes Roth erscheinen — vorausgesetzt, dass das Spectrum nicht verkürzt ist. Das Spectrum ist dreigetheilt: in der Mitte Grün und von beiden Seiten Roth. Wenn dagegen die dritte Grundfarbe von Young-Helmholtz, sei es dass dieselbe durch Blau, sei es dass sie durch Violett dargestellt wird, fehlt, dann kann sich allerdings im Spectrum auch nur Roth und Grün finden, aber es muss das Grün bis zum violetten Ende des Spectrums reichen. Es kann im Sinne der Dreifarbentheorie (mit den Grundfarben Roth, Grün und Blau oder Violett) nicht eine gesonderte Gelbblindheit und Blaublindheit geben, wie es eine gesonderte Rothblindheit und Grünblindheit gibt, sondern nur Eine Blau (Violett) blindheit.

Würde ein einziger brauchbarer Fall von sog. Gelbblaublindheit oder sog. Blau (Violett) blindheit mit unverkürztem Spectrum zur Beobachtung kommen, so wäre unzweifelhaft erwiesen, ob die Vierfarben- oder die Dreifarben-Theorie unrichtig ist, ohne dass begreiflicher Weise der Beweis geliefert wäre, dass die andere Theorie die richtige sei.

Eines aber wird man jetzt schon erkennen, wie es nämlich, bei so mangelhaften Kenntnissen und Erfahrungen zum Vortheile gereicht, die in Rede stehende Anomalie, falls sie überhaupt existirt, als Rothgrünsichtigkeit (Etythrochloropie) zu bezeichnen. Darüber kann kein Zweifel sein, dass die Farbenblinden dieser Art das Spectrum nur Roth und Grün sehen können, dass sie rothgrünsichtig sind. Der Name aber lässt es dahingestellt, ob Gelb und Blau farblos, oder

vielleicht eher quantitativen Schwächungen des normalen Farbensinns (wovon später) beizuzählen sind.

Weitere Beobachtungen über Achromatopie wurden publicirt:

1880. Magnus: 38jährige Lehrerin, deren Bruder angeblich gleichfalls total farbenblind war. Es besteht stark herabgesetzte Sehschärfe (rechts 1/8, links 1/5), herabgesetzter (3/4) Lichtsinn und hochgradige Lichtscheu, schwacher Nystagmus. Augengrund normal. Das farblose Spectrum unverkürzt, die grösste Helligkeit ziemlich genau in der Natriumlinie.

1880. Landolt: Drei total farbenblinde Brüder, von denen zwei untersucht wurden. Bei Beiden: Sehschärfe sehr bedeutend herabgesetzt (kaum 1/10), Papillen blass. Das Spectrum hat beiläufig die normale Ausdehnung, die grösste Helligkeit dort, wo sie auch das farbentüchtige Auge hat.

1881. Landolt: 20jähriger Mann mit ziemlich hochgradiger Myopie, kaum 1/10 Sehschärfe, hochgradiger Lichtscheu, sehr blassen Sehnerven. Das Spectrum am rothen Ende verkürzt, die grösste Helligkeit mehr gegen das Grün hin, als für das farbentüchtige Auge.

1885. Dor: Die Sehschärfe des Achromatopen betrug 1/5.

1891. Landolt: 45jähriger Mann (dessen Bruder gleichfalls Achromatop) mit kaum 1/10 Sehschärfe, blassen Sehnerven, verengten Netzhautgefässen, Nystagmus und Lichtscheu. Sehfeld ist am rechten Auge nach aussen, am linken nach oben, unten und aussen leicht eingeengt.

1891. Querenghi: a) 21jähriges Mädchen mit Sehschärfe 1/10 und Nystagmus bei heller Beleuchtung. Wird die Beleuchtung auf 1/10 herabgesetzt, so steigt die Sehschärfe für die Ferne auf 1/6 und für die Nähe auf 1/4, Gesichtsfeld concentrisch eingeengt, links noch mehr als rechts. Spectrum am rothen Ende verkürzt, grösste Helligkeit im Gelbgrün.

b) 23jähriger Mann mit V 1/10 (ein wenig steigend bei herabgesetzter Beleuchtung), Lichtscheu, Nystagmus. Spectrum wie im früheren Falle. Spiegelbefund in beiden Fällen normal.

1891. Hering: Der Achromatop zeigt, wie die Fälle Querenghi's, bei herabgesetzter Beleuchtung grössere Unter-

.iedsempfindlichkeit für Helligkeiten, hat deshalb das violette de des Spectrums verlängert. Das rothe Spectrumende ist zur Linie C verkürzt. Hellste Stelle des Spectrums wechselt nach der Lichtquelle von Grün gegen Gelb hin. Ein durch rabsetzung der Beleuchtung achromatopisch gemachtes (neutral stimmtes) farbentüchtiges Auge zeigt dasselbe Verhalten.

Im Jahre 1879 hat O. Becker einen Fall von einseitiger aler Farbenblindheit bekannt gemacht. Während das rechte ge alle vorgelegten „Farbennuancen“ (Farben„töne“ in der rache dieser Schrift — denn „Nuancen“ unterscheidet das benblinde Auge stets ebensogut oder besser, wie das farben- htige), geradezu mit Virtuosität unterscheidet, sieht das linke es nur grau und zwar heller und dunkler grau. Nur Braun cheint dem Auge „farbig“. Alle Schatten beim Schatten- itrastversuche (sowie beim Florpapierversuche) sind rein grau; unterscheiden sich nur durch ihre Dunkelheit. Das Spectrum er dessen Aussehen sonst nichts angegeben ist) ist nicht kürzt (höchstens ein klein wenig am violetten Ende). Die sste Helligkeit ist im Gelb, fast genau in der Natriumlinie.

Dem monochromatischen Spectrum, der Monochro- ;opie, wollen wir keine eigene Ueberschrift widmen. Ich habe on oben die Rose'sche Ansicht erwähnt, dass die Achroma- en ihren Namen mit Unrecht verdienen, dass sie nämlich it nur hell und dunkel, sondern dass sie Alles in einer Farbe en; dass man eher sagen kann, dass sie nur Hell- und Dunkel- lb unterscheiden und mit diesem Gelb die anderen Farben wechseln.

Auch Donders, der später zu erörternden Young-Helm- tz'schen Theorie folgend, meint, dass sein Totalfarbenblinder, ungefähr im Grün des Spectrums die hellste Stelle sah, noch durch Grün erregbaren Elemente und diese allein in seiner zhaut besass. Der gute Mann sah also eigentlich (da auch ı weissen Licht, das man sich ja aus den verschiedenen Licht- ;en gemengt denkt, nur grünempfindende Fasern der Netz- t erregt werden konnten) die ganze Welt spinatfarben. ler konnte er sich aber, weil er eben Alles mehr oder der spinatfarben sah, dieser angenehmen Eigenschaft nicht 'usst werden.

Wenn, wie in Becker's Falle, nur Ein Auge farbenblind ist, müsste es unbedingt klar werden, ob die Achromatopen Monochromatopen sind. Becker's Patientin sah alles grau, also achromatisch. Dass sie dennoch Braun „farbig" (es ist nicht angegeben, wie?, aber wahrscheinlich braun), aber keine Gegen- oder Complementärfarbe dieses Braun sah, — das allein beweist, wie viel Unergründetes sich noch in der Farbenlehre findet, in jedem Falle aber, dass die „Achromatopin" nicht total farbenblind war.

---

§ 12. Herabsetzung des Farbensinns

(Dyschromatopie).

Herabsetzung des Farbensinns ist von den bisher abgehandelten Anomalien total verschieden. Die Farbenblindheit ist eine qualitative, die Herabsetzung des Farbensinns eine quantitative Störung des Farbensinns. Das eine ist mit dem andern nicht zu vergleichen. Ich begreife auch nicht, wie man durch Methoden, welche sich mit der quantitativen Bestimmung des Farbensinns befassen, irgend etwas in Betreff der Qualität des Farbenempfindungsvermögens erfahren kann. Allerdings sagt Donders 1877: „Absoluter Mangel des Farbenunterscheidungsvermögens für eine oder andere Farbe kommt sehr selten vor: gesättigte Farben, gut erleuchtet und unter ziemlich grossem Gesichtswinkel gesehen, werden auch von den Meisten derer, die für farbenblind gelten, unterschieden". Dann möchte man glauben, dass die meisten Farbenblinden überhaupt wissen müssten, was Grün und Roth ist, denn wahrlich Grün und Roth unter hinlänglich grossen Gesichtswinkeln bei guter Beleuchtung zu sehen, hatten sie wohl alle Gelegenheit. Eine solche Anschauung, qualitative Störungen im Allgemeinen auf quantitative zurückführen zu wollen, hat sicherlich keine Berechtigung. Die Polychromatopie ist von der Dichromatopie essentiell verschieden und man kann höchstens untersuchen, ob der Farbensinn bei der Polychromatopie einerseits, bei der Dichromatopie andererseits normal oder herabgesetzt ist, ob also bei Polychromatopie einerseits

bei Dichromatopie andererseits Euchromatopie oder Dyschromatopie besteht. Den Ausdruck Dyschromatopie, welcher für die qualitativen Störungen des Farbensinns gebraucht wurde, beschränke ich demnach (mit Landolt) auf die quantitativen Störungen.

Was die quantitative Bestimmung des Farbensinns anlangt, so gibt es, wenn man die Höhe des Farbensinns in der Art messen will, dass man den Gesichtswinkel sucht, unter welchem noch farbige Objecte in ihrer Farbe erkannt werden, ebensowenig eine Grenze für die Kleinheit dieses Gesichtswinkels, als es eine solche Grenze gibt, wenn wir den Raumsinn messen wollten durch den kleinsten Gesichtswinkel, unter welchem ein leuchtendes Object noch gesehen wird. Es kommt nur auf die Lichtstärke der Farbe an. In der That sehen wir ja einzelne Fixsterne, die uns unter einem unmessbar kleinen Gesichtswinkel erscheinen, farbig.

Prüfung nach Donders, Dor, Weber.

Für terrestrische Versuchsobjecte wurden von den Physiologen manche diesbezügliche Versuche angestellt: für die quantitative Bestimmung des Farbensinns hat Donders angegeben, dass man trotz mancher Schwankungen als allgemeine Regel annehmen könne, dass runde Stücke Blumenpapiers in hellen gesättigten Farben auf schwarzem Sammetgrunde unter guter Beleuchtung im auffallenden Licht bei einem Durchmesser von 1 Millimeter von einem Auge mit normaler Sehschärfe auf einen Abstand von 5 Metern erkannt werden. Für durchfallendes Licht hat Donders farbige Gläser benutzt, die von rückwärts durch eine in einem bestimmten Abstande befindliche Normalkerze beleuchtet und mit einem Durchmesser von 1 Millimeter dem zu prüfenden Auge dargeboten werden. Eine Herabsetzung des Farbensinns wird gefunden, wenn ein Auge sich der Farbe stärker als ein Normalauge nähern muss, und der Grad der quantitativen Farbensinnstörung drückt sich in der Verminderung des Normalabstandes aus.

Die Forderung von Donders, dass ein Auge alle Farben von 1 Millimeter Durchmesser unter den angegebenen Bedingungen auf 5 Meter erkennen solle, ist sicherlich eine viel zu hohe.

Dor, Ad. Weber und Cohn, die sich mit der gleichen Frage beschäftigten, sind zu folgenden Resultaten gelangt. Nach Dor soll man bei Tageslicht auf 5Meter Abstand Roth bei einem Durchmesser von 3, Grün bei einem solchen von 2, Gelb bei $2^1/_2$, Blau hingegen erst bei 8 Millimeter Diameter erkennen; Dor hat auch nach diesen Grundsätzen Tafeln zur quantitativen Bestimmung des Farbensinns anfertigen lassen. Der Apparat Ad. Weber's (zu beziehen von Ehrhardt & Metzger in Darmstadt), den Cohn Chromoptometer nennen möchte, wird so verwendet. Das Fenster des Untersuchungszimmers hat ein Vorfenster aus mattem Glas. Die dem Fenster gegenüberliegende Wand ist mit schwarzem Stoff überzogen. Auf diesem schwarzen Grunde wird die Farbentafel angebracht. Auf schwarzem Sammet finden sich die farbigen Papiere: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett und Grau in Reihen. Die gleichwerthigen Durchmesser der Farben sind in jeder Reihe so gewählt, dass sie auf die ersichtlich gemachte Distanz von dem Normalauge erkannt werden. Damit jede Farbe dem Beobachter isolirt dargeboten werde, kann man mit Hilfe eines mit einem Loch versehenen Schiebers alle Farben bis auf die gewünschte verdecken. Um sich vor seitlichem Lichteinfall zu schützen, blickt man durch einen dem Gesicht sich genau anlegenden innen geschwärzten Kasten nach der Farbentafel. Für abgedämpftes Tageslicht setzt Weber auf 5 Meter Abstand die Durchmesser von Roth und Grün wie Dor, auf 3 und 2 Millimeter; für Gelb nimmt er den doppelten Durchmesser wie Dor, nämlich 5, und ebenso auch für Blau 5 Millimeter (gegen die 8 Millimeter Dor's). Cohn fand bei seinen Untersuchungen mit dem Weber'schen Chromoptometer, dass selbst bei mittelmässigem Tageslicht der dritte Theil der von ihm untersuchten Augen Roth auf grössere Distanz erkannte, als es nach Weber sein sollte; dass jedoch für Grün das entgegengesetzte der Fall war, indem der Grünsinn der meisten Augen sich kleiner ergab, als nach dem Weber'schen Maass. Dasselbe war für Blau der Fall; bei Gelb verhielt sich die Sache jedoch entgegengesetzt, sie verhielt sich wie bei Roth. Cohn prüfte auch den Einfluss des Gas-, sowie jenen des electrischen Lichtes auf das Farbenunterscheidungsvermögen. Er fand, dass Gaslicht die „Sehschärfe" für Roth, Grün, Gelb und Blau meist vergrössert, wenn dieselbe bei Tage < 1, dieselbe dagegen verringert, falls sie bei Tage > 1.

r fand ferner, dass das electrische Licht fast stets den Farben-
nn gegenüber dem Tageslicht bessert und zwar am meisten
en Rothsinn, der nach Cohn's Auffassung in einem Falle auf
as Sechsfache stieg, dann den Gelbsinn, weniger den Grün- und
lausinn.

Cohn untersuchte auch die Grösse des Farbenempfindungs-
ermögens bei einem Rothgrünblinden und fand, dass nicht bloss
essen Gelb- und Blausinn durch electrisches Licht gegenüber
em Tageslicht gebessert wurde, sondern dass auch eine Ver-
esserung der „Sehschärfe" betreffs der Erkennung von Roth
nd Grün als einer Farbe („wahrscheinlich Gelb", wie Cohn sagt
— sicher Gelb, wie ich hinzufüge) eintrat.

Ich stellte die Probeobjecte aus farbigen Wollen her, indem
ch einen Wollfaden von 5 Millimeter Länge auf Pappendeckel
orizontal klebte und mit diesem Faden parallel so viele Fäden
erselben Farbe, bis ein Quadrat von 5 Millimeter Seite fertig
var. Dieses farbige Quadrat wird auf einem schwarzen Sammt-
leck und dieser wieder auf einem grossen Bogen schwarzen
Papiers befestigt. Auf 15 Meter Abstand sehe ich bei guter Tages-
beleuchtung das gelbe Quadrat bereits gelblich. Blau sehe ich
farbig bei 12 Meter Distanz, allein ich sehe es nicht blau, sondern
grün und zwar bei weiterer Annäherung als ein sehr gesättigtes
Grün. Erst bei der erstaunlich geringen Distanz von 3 Meter
wird das Quadrat (von dem ich noch dazu weiss, dass es blau
ist) blau. Roth erscheint farbig bei 15 Meter Abstand und zwar
bald gelb bald roth; roth wird es erst in einer Distanz von
11 Meter. Grün endlich erscheint farbig und zwar grün bei ca.
11 Meter Abstand. Man sieht, welch' grosse Schwankungen in dem
Erkennen von Pigmentfarben existiren. Trotzdem wird man sich
im practischen Leben gar nicht bewusst, wie schwer man Blau
im Vergleiche zu Gelb auffasst. Die einfachste Erklärung, wes-
halb mit dem centralen Theile der Retina, mit dem gelben Fleck,
Blau unvergleichlich schwerer erkannt wird als Gelb und wes-
halb das Blau der Pigmentfarben bei einer bestimmten Kleinheit
des Gesichtswinkels grün scheint, ist die, dass der gelbe Fleck
im lebenden Auge wirklich gelb ist. Das gelbe Licht wird durch-
gelassen, das blaue dagegen zum Theile „absorbiert", so dass,
wenn nur sehr wenig blaues Licht zum gelben Fleck gelangt

dasselbe gänzlich vernichtet wird und nur das grüne Licht hindurchgeht, welches von dem bei gehörig grossem Gesichtswinkel uns blau erscheinenden Objecte ausstrahlt.

Die angeführten Messungsresultate haben nicht den geringsten wissenschaftlichen Werth. Abgesehen davon, dass die Angaben der verschiedenen Untersucher mit einander nicht vergleichbar sind, weil Jeder andere Pigmentfarben verwendete, ist auch die Angabe jedes einzelnen Autors werthlos, weil, um zu wissen, auf welchen Abstand z. B. Roth und Grün von einem bestimmten Durchmesser erkannt wird, dieses Roth und Grün in Betreff seiner Farbenkraft sowie in Betreff der Nuance (Beimischung von Weiss) vollkommen vergleichbar sein müsste. Ole Bull war der Erste, der derartige Probeobjecte herzustellen versuchte.

Ole B. Bull's chromatoptometrische Tabelle.

(Christiania 1882.)

Ole Bull's Tafel enthält auf schwarzem Grunde 10 horizontale Reihen farbiger Quadrate von 1 cm Seite. In jeder dieser Reihen stehen 10 derartige Quadrate. Die Farbe der einzelnen Quadrate ist entweder grau oder eine der vier Grundfarben. Die Reihen sind überschrieben mit den Ziffern: 1, 1·5, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 14, 18. Die Reihe 18 enthält die relativ gesättigtsten Farben und das relativ dunkelste Grau, die Reihe 1 dagegen die weisslichsten Farben und das hellste Grau. Es ist Sorge getragen oder doch beabsichtigt, dass allen farbigen Quadraten die gleiche Farbenkraft (die gleiche farbige Valenz, Hering), sowie die gleiche Beimengung von Weiss (Grau) d. i. die gleiche weisse Valenz (Hering) zukommt. Ist die Farbe der Quadrate in der Reihe 1 so gewonnen, dass auf dem Farbenkreisel 20° Farbe und 340° Grau gemischt wurden, so bedeutet die Ziffer 6 über der Reihe 6, dass die Farbe dieser Quadrate am Kreisel so hergestellt wurde, dass ein Sector von $6 \times 20 = 120°$ Farbe von gleicher farbiger Valenz zu einem Sector von 240° des früheren Grau zugesellt ward. Die Reihe 18 enthält $18 \times 20 = 360°$ Farbe. Es ist dies jene Farbe, durch deren immer heller werdende Nuancen die übrigen Reihen bis zu 1 dar-dargestellt sind.

Die Tafel wird in gutem diffusen Tageslichte aufgehängt und der zu Untersuchende in eine Entfernung von 1 Meter gestellt. Zuerst werden die rein grauen Quadrate der Reihe 1 mit einem Stabe gezeigt und hierauf wird der Untersuchte aufgefordert, mit dem Stabe die farbigen Quadrate dieser Reihe zu bezeichnen. Werden hierbei alle farbigen Quadrate von den grauen unterschieden, so besteht C (Farbensinn) = $^1/_1$. Würden jedoch nur einzelne Quadrate oder würde gar kein Quadrat dieser Reihe von Grau unterschieden, so geht man zur nächsten Reihe über. Im Allgemeinen wird der Farbensinn ausgedrückt durch einen Bruch, in dessen Zähler 1, in dessen Nenner jene Zahl steht, die über derjenigen Reihe sich findet, in welcher zuerst alle farbigen Quadrate von den grauen unterschieden werden. Nach dem Namen der einzelnen Farben wird nicht gefragt. Ist also z. B. Jemand nicht im Stande in den Reihen 1, 1·5, 2 die Farben alle herauszufinden, von Grau zu unterscheiden, sondern erst in Reihe 3, so ist C = $^1/_3$, und man müsste von C = $^1/_{18}$ sprechen, wenn erst in der letzten Reihe die Farben alle vom Grau unterschieden würden.

Es wird wenig Menschen geben, welche auf 1 Meter Abstand in der Reihe 1 jener Bull'schen Tafel, die in meinen Händen ist, die farbigen Quadrate von den grauen sichten könnten, auch dann nicht, wenn man, wie Bull empfiehlt, zuerst an einer gesättigteren Reihe demonstrirt, um was es sich handelt und von dieser Reihe bis zu Reihe 1 aufsteigt. Während Sehschärfe, (Visus = V) $^1/_1$ jenes Minimum bezeichnet, unter welches V nicht herabsinken darf, soll die Sehschärfe noch als normal bezeichnet werden, (dagegen V > $^1/_1$ nichts seltenes ist), ist C $^1/_1$ (Bull) unter keiner Bedingung ein analoges normales Minimum des Farbensinns, eher ein selten vorkommendes Maximum.

Für die Praxis muss die Tafel so verwendet werden, dass der farbentüchtige Untersucher zunächst feststellt, welche Reihe er (von 1 ausgehend) bei der eben herrschenden Beleuchtung in einem Abstand von 1 Meter vollkommen aufzulösen vermag. Diese Reihe muss als 1 angesehen und der Farbensinn dementsprechend ausgedrückt werden. Würde also von einem Farbentüchtigen im Momente der Prüfung nur Reihe 2 vollkommen gelöst und wäre der Untersuchte erst Reihe 6 zu erkennen im Stande, so wäre dessen Farbensinn nicht $^1/_6$, sondern $^2/_6 = ^1/_3$. All-

gemein: Ist x die Ziffer der Reihe, die der farbentüchtige Untersucher, y jene der Reihe, die der Untersuchte bei der gegebenen Beleuchtung löst, so ist des Untersuchten C $= \frac{x}{y}$.

Chibret's Apparat.

Wenngleich Ole Bull jede Tafel, die ausgegeben wird, selbst controlirt, so hat doch die gleichmässige Herstellung seiner Farbenproben mit grossen technischen Schwierigkeiten zu kämpfen, und anderseits werden uns im besten Falle nur 10 Nuancen von 4 Farbentönen geboten. Dagegen haben wir im Apparate Chibret's (pag. 44) ein Instrument kennen gelernt, das der Mechaniker, wenn er nur will, in vollkommener Gleichmässigkeit herstellen kann und das uns eine grosse Reihe von Farbentönen und jeden Farbenton von ziemlich bedeutender Sättigung angefangen durch eine Unzahl von Nuancen (pag. 47) bis zu dessen Uebergang in Weiss mit grösster Leichtigkeit liefert. Ich habe schon (pag. 47) darauf hingewiesen, dass dieser Apparat besonders für die Bestimmung der quantitativen Störungen des Farbensinns von Bedeutung ist und auch die Art und Weise, wie diese Störung ausgedrückt wird, haben wir kennen gelernt (pag. 79).

Als Beweis dafür, dass „Farbenblindheit" und quantitative Störung des Farbensinns essentiell verschiedene Dinge sind, also dass auch ein Dichromatop euchromatopisch sein kann, diene der Befund an Herrn X. Auf 15 Meter Abstand erkennt er an meinen Wollquadraten sofort das Gelb. Blau sieht er schon in 14 Meter Abstand farbig und zwar Gelb (meinem Grün entsprechend); blau wird es erst in grosser Nähe, ungefähr dort, wo es auch mir Blau erscheint. Roth erscheint auf 10 Meter Abstand farbig, gelb und bleibt bei der Annäherung gelb. Grün endlich erscheint bei 10 Meter bläulich und erst bei 2½ Meter braun. Von einer wesentlichen quantitativen Störung des Farbensinns kann daher bei diesem Farbenblinden nicht die Rede sein. Natürlich, falls man ein Roth nehmen würde, für welches Herr X. mit seinem verkürzten Spectrum im Tageslichte blind ist, dann wäre die quantitative Störung für Roth unendlich gross. Es darf uns auch nicht Wunder nehmen, wenn Herr X. die dunkelrothen Buchstaben

Stilling's nur auf $2^1/_2$ Meter (pag. 227) erkennt. Gewisse rothe Buchstaben würde er vom schwarzen Grunde gar nicht unterscheiden.

Ein analoges Resultat erhält man mit Herrn X. auch an Chibret's Apparat. Da gibt es ein Farbenpaar, das er selbst im Zustande der höchsten Sättigung, die der Apparat bietet, nicht zu unterscheiden vermag in Folge der qualitativen Störung seines Farbensinns. Jene Farbenpaare aber, die er im Zustande der Sättigung unterscheidet, findet er selbst im Zustande der grössten Weisslichkeit, bei welcher der Farbentüchtige die beiden Farben eben noch differenziren kann, auch noch nicht ganz gleich (pag. 78).

Am deutlichsten tritt der Unterschied zwischen qualitativer und quantitativer Störung des Farbensinns hervor, wenn man Herrn X. mit Bull's Tafel untersucht. Da tritt die interessante, wenngleich uns nicht mehr verblüffende Erscheinung hervor, dass er in Reihe 2 und den nächstfolgenden Reihen alle Quadrate, also auch die beiden grauen farbig sieht, und zwar erscheinen ihm die beiden letzteren gelblich, wie die grünen und rothen Quadrate. Wie hoch sollte man demnach den Farbensinn schätzen, wenn sogar das neutrale Grau farbig gesehen wird? In Reihe 18 aber, wo die gesättigtsten Farben stehen, erklärt der Farbenblinde die beiden Grün und die beiden Roth für dunkelgrau.

Schon aus dieser einen Probe geht hervor, dass die Tafel Ole Bull's für die Untersuchung angeborener Farbenblindheit, d. h., dass sie für die Prüfung qualitativer Störungen des Farbensinns nicht brauchbar ist, wofür sie Ole Bull übrigens auch nicht empfiehlt. Die Erklärung für die sonderbaren Angaben, die X. macht, ist folgende. Das Grün der Reihe 18 ist grünblau, wie das Roth dieser Reihe rothblau ist. (Bei der Prüfung des peripheren Farbensinns werden wir auf diese Farben Ole Bull's noch zurückkommen.) Daher kein Wunder, dass der Xanthokyanop dieselben grau sieht. Das Neutralgrau Bull's ist aber für diesen Xanthokyanopen gelb. Je mehr von diesem „Gelb" der Farbe (Roth und Grün), die der Xanthokyanop grau sieht, beigemischt wird, je mehr also die weisse Valenz in der Farbe für den Farbentüchtigen steigt, desto gelblicher wird die in ihrer grösseren Sättigung grau gesehene Farbe und desto schwieriger das Erkennen der blauen Quadrate.

§ 13. Kritik der Methoden.

A. Die wissenschaftlichen Methoden.

Wir haben schon früher darauf hingewiesen, dass die wissenschaftlichen Methoden für die practische Bestimmung der Farbenblindheit wenig Bedeutung haben. Es ist in jedem Falle misslich, sich darauf zu verlassen, wie der Untersuchte die Farben des Radde'schen Index, des Spectrums, der spectralen Metalllinien benennt, ebenso darauf, welchen Namen er der Contrastfarbe bei den Simultanversuchen beilegt. Wenn man andererseits die Farben durch Wollen, Pulver, Papiere nachlegen lässt, dann kann sich allerdings die Farbenblindheit enthüllen, aber die Versuche werden dann ganz überflüssig, indem wir ja nun eine Wahlprobe vornehmen und wir demnach gleich lieber statt des ganzen complicirten Apparates ein Wollbündel vorlegen und die Wahlprobe nach Holmgren machen. Dass von einer Verwendung des Farbenkreisels für practische Farbenprüfungen nicht die Rede sein kann, dass ein so schwieriges und zeitraubendes Verfahren, ganz abgesehen davon, dass das Neutralgrau des Farbentüchtigen nicht jenes des Xanthokyanopen zu sein braucht, von der Praxis ausgeschlossen ist, ist selbstverständlich. Nur über die etwaige Benützung der Polarisationsapparate muss noch ein Wort gesprochen werden.

Hering hat dem Apparate von König vorgeworfen, dass die Rothgrünblinden mit den dem Apparate beigegebenen Quarzplatten von 5 und 10 mm Dicke eine vollständige Gleichung in Bezug auf Farbe und Helligkeit nicht herstellen können, weil bei einer Plattendicke von 5 mm das grüne, bei einer solchen von 10 mm das rothe Feld aus optischen Gründen als das hellere erscheint (1885). Wenngleich dies insofern nicht richtig ist, als thatsächlich selbst intelligente und geübte Farbenblinde wenigstens bei einer Quarzdicke von 10 mm eine vollständige Gleichung herstellen können, so hat andererseits Hering darauf hingewiesen, dass es eine zwischen 5 und 10 mm liegende Quarzdicke geben müsse, bei welcher das Roth und Grün noch verhältnissmässig gesättigt und die beiden Felder auch gleich hell erscheinen würden, wenngleich es nicht allen Farbenblinden möglich wäre, eine vollständige Gleichung zu erhalten. Es würde

sich gewiss empfehlen eine derartige Quarzplatte dem Ophthalmo-Leukoscop beizugeben, aber es muss bemerkt werden, dass einerseits bei den practischen Prüfungen und bei gutem Willen des Untersuchten die Verwechslungsfarben, um die es sich handelt, auch wenn die beiden Felder nicht gleich hell erscheinen, mit grösster Leichtigkeit aufgefunden werden können, andererseits aber die von Hering angeregte Modification für die Bestimmung der Farbenblindheit ganz werthlos wäre, falls der gute Wille des Untersuchten fehlt. Denn der Untersuchte hat bei der Prüfung mit dem Leukoscop nur anzugeben, ob bei Drehung des Ocular-Nicols an irgend einer Stelle die beiden Felder gleichfarbig wären. Für den Farbentüchtigen gibt es da keine Gleichung. Würde daher ein solcher Apparat zu Massenuntersuchungen, etwa des Eisenbahnpersonales verwendet, so würde es bald ruchbar werden, dass der Betreffende nur anzugeben braucht, dass er an keiner Stelle gleiche Farben sehe, um für farbentüchtig erklärt zu werden.

Anders läge die Sache, wenn es einen Polarisationsapparat gäbe, bei welchem auch für den Farbentüchtigen eine Farbengleichung möglich wäre. Denn in diesem Falle könnte der Farbenblinde nie wissen, ob die Farbengleichung des Farbentüchtigen oder jene des Farbenblinden eingestellt ist und andererseits würde die Angabe, dass bei keiner Stellung des Ocular-Nicols eine Gleichung zu erlangen sei, den Dissimulanten verrathen.

Den Mangel, dass in seinem Apparate der Farbentüchtige die geforderte Einstellung des Ocular-Nicols nicht erlangen kann, hat schon König gefühlt. Während aber seine Versuche zur zweckmässigen Abänderung des Leukoscops (1885) erfolglos geblieben waren, war König's Forderung durch den Apparat Chibret's (1885) im wesentlichen bereits gelöst. Steht bei Chibret der Index der Farbenscala z. B. auf Orange Null oder Orange 2 und der Index der Sättigungscala auf Null, dann ist sowohl für das farbentüchtige als für das farbenblinde Auge eine Gleichung hergestellt. Drehe ich jedoch jetzt den Index der Sättigungsscala um 3°, 4° oder 5°, so hat die Gleichung für den Farbentüchtigen aufgehört. Besteht eine quantitative Störung des Farbensinns, so wird die Gleichung nur bis zu einer bestimmten Grösse des Drehungswinkels bestehen bleiben, bei einer qualitativen Störung jedoch (bei der angeborenen Xanthokyanopie) bis zum

grössten Drehungswinkel von 45° gelten. Vorausgesetzt also, dass der Xanthokyanop stets die gleichen Farben verwechselt, so wird es genügen, den Farbenindex auf den betreffenden Theilstrich der Farbenscala einzustellen, um jeden Dissimulanten, auch wenn derselbe die Einrichtung des Apparates kennt, zu entlarven, wenn nur durch ein vor der Sättigungsscala angebrachtes Diaphragma dafür gesorgt wird, dass die Stellung des Index an der Sättigungsscala nicht beobachtet werden kann. Der Dissimulant, dem bekannt ist, dass es auch für den Farbentüchtigen eine Einstellung giebt, der aber nicht wissen kann, ob der Sättigungsindex auf 0° oder auf 20° oder auf 40° steht, muss sich gar bald verrathen, da er ja keinen Anhaltspunkt hat, welche Einstellung die für den Farbentüchtigen allein geltende ist.

Trotzdem kann auch ein derartiger Polarisationapparat nicht mit Beruhigung verwendet werden, weil die Farbengleichung für die einzelnen Xanthokyanopen etwas variirt. Es kann geschehen, dass, wenn ich den Index i auf 0_2 stelle (vgl. pag. 80), ich einen dissimulirenden Xanthokyanopen entlarve, aber der nächste, der vor den Apparat kommt und der die Gleichung nicht genau bei 0_2 hat, wird wirklich nur bei 0°, wie der Farbentüchtige, seine Gleichung haben. Es würde zwar leicht sein, auch für diesen Mann die Gleichung zu finden — wenn er nicht eben seine guten Gründe hätte, die Mitwirkung zu versagen.

B. Die praktischen Methoden.

Den höchsten Rang nehmen nach meiner eigenen Erfahrung die früher (pag. 93 sub c) erwähnten pseudoisochromatischen Pulverproben ein. Mit denjenigen Pulverproben, die seit 1879 in meinen Händen sind und die ich selbst hergestellt habe, ist die Entdeckung der Farbenblindheit in der denkbar kürzesten Zeit möglich. Wenn ich aber dachte, dass die Herstellung dieser Proben eine einfache Sache sei, so musste ich mich überzeugen, dass dieselbe auf uncontrolirbare Schwierigkeiten stösst. In einem Exemplare der für den Handel bestimmten Proben, das ich besitze, sind nicht weniger als 13 Probefläschchen unbrauchbar. Ich habe daher schon im Jahre 1881 erklärt [1]), dass

[1]) Wiener med. Wochenschrift Nr. 38 und 39: „Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie."

ich sehr bezweifeln muss, ob in den Händen der Fachgenossen sich brauchbare Exemplare befinden. Einzelne dieser Collectionen müssen allerdings gelungen sein, sonst hätte Schenkl (1881) diese Pulverproben nicht als das beste Mittel zur Entdeckung der Farbenblindheit empfehlen können. Die pseudoisochromatischen Pulverproben sind in der That ein so compendiöser und so vortrefflicher Apparat, dass ich angeben will, wie jeder Fachmann sich dieselben herstellen kann. Er nehme bei einem Farbwaarenhändler, der über ein grosses Musterlager verfügt, Proben aller farbigen Pulver, so viele es deren gibt. Ausserdem lasse man sich mehrere Grau zusammensetzen, in Ermanglung besserer die drei Grau Cohn's (pag. 103). Mit Hilfe von intelligenten Farbenblinden werden immer je zwei gleichfarbig erscheinende Pulver ausgesucht, und in einem parallelopipedischen homoeopathischen Fläschchen zu gleichen Theilen übereinander geschüttet. Die Grenzfläche zwischen beiden Pulvern braucht keineswegs ein scharf begrenztes Quadrat in des Fläschchens Mitte zu sein. Im Gegentheile, es ist besser, wenn keine regelmässige scharfe Begrenzung die beiden Pulver trennt. Ich selbst habe die nachfolgenden Pulver unter dem Namen, der ihnen beigefügt ist, als passend gefunden, und unter der für solche Proben unerlässlichen Bedingung, dass sich in der Sammlung Fläschchen befinden, die nur Eine Farbe oder zwei nahezu gleiche Farben von verschiedener Helligkeit enthalten, die folgenden 34 Pulverproben zusammengestellt.

1.

Die pseudoisochromatischen Pulverproben enthalten:

Isochromatische Pulver.

No.		
No. 1 . . .	Carminzinnober: Roth.	
„ 2 . . .	Schweinfurtergrün hell: Grün.	
„ 3 . . .	Kobaltblau: Blau.	
„ 4 . . .	Chromgelb Citron: Gelb.	
„ 5 . . .	Zinnober 4 mal gemahlen Carminzinnober	Roth 2 Nuancen.
„ 6 . . .	Neuzinnober Carminzinnober	Roth 2 Nuancen.

No. 7 . . .	Seidengrün hell Victoriagrün hell	Grün 2 Nuancen.
„ 8 . . .	Schweinfurtergrün hell „ dunkel	Grün 2 Nuancen.
„ 9 . . .	Ultramarinblau hell „ dunkel	Blau 2 Nuancen.
„ 10 . . .	Chromgelb Citron Zinkgelb	Gelb 2 Nuancen.

Pseudoisochromatische Pulver:

A) der Xanthokyanopen.

No. 11 . . . Carminzinnober: Roth,
Rehbraun: Braun.

„ 12 . . . Neuzinnober: Roth,
Terra di Siena: Braun.

„ 13 . . . Seidengrün hell: Grün,
Rehbraun: Braun.

„ 14 . . . Carminzinnober: Roth,
Seidengrün hell: Grün.

„ 15 . . . Zinnober 4mal gemahlen: Roth,
Seidengrün mitteldunkel: Grün.

„ 16 . . . Seidengrün hell: Grün,
Chromgelborange: Orange.

„ 17 . . . Carminzinnober: Roth,
Chromgelborange: Orange.

„ 18 . . . Carmin: Carmin (Rothblau),
Terra di Siena: Braun.

„ 19 . . . Kobaltblau: Blau,
Ultramarinviolet: Lichtviolet.

„ 20 . . . Ultramarinblau dunkel: Blau,
Violeter Lack: Violet.

„ 21 . . . Brillantroth: Purpur,
Ultramarinviolet: Violet.

„ 22 . . . Krapprosa: Rosa,
Cohn's Hellgrau: Grau.

„ 23 . . . Scheel'sches Grün: Grünblau,
Cohn's Dunkelgrau: Grau.

„ 24 . . . Krapprosa: Rosa,
Scheel'sches Grün: Grünblau.

No. 11 bis 18 sind für den Xanthokyanopen „gelbe"
une) Farben, No. 19 bis 21 blaue und No. 22 bis 24 graue.
Probe 24 erscheint allerdings Rosa gegen Scheel'sches
ı, wie Bläulichgrau gegen Gelblichgrau, aber doch kann man
Pulver nach Aussage von Xanthokyanopen als pseudoiso-
matisch ansehen. Thatsächlich wird dieses Fläschchen fast
er von Xanthokyanopen unter die gleichfarbigen gelegt.

B) Für Erythrochloropen (Gelbblaublinde) habe ich
ı Analogie der Wollproben in Daae's Tafel folgende Pulver
.mmengestellt:

No. 25 . . . Zinkgelb: Lichtgelb,
Krapprosa: Rosa.
„ 26 . . . Chromgelborange: Orange,
Violeter Lack: Violet.
„ 27 . . . Chromgelbcitron: Gelb,
Carmin: Rothblau.
„ 28 . . . Rehbraun: Braun,
Krapprosa: Rosa.

Für Erythrochloropen, die Blau grün sehen (pag. 113), gelten
ende Farben:

No. 29 . . . Schweinfurtergrün: Grün,
Kobaltblau: Blau.
„ 30 . . . Schweinfurtergrün dunkel: Grün,
Violeter Lack: Violet.

Anisochromatische Pulver,

. solche, welche auch dem Dichromatops ungleichfarbig er-
inen werden, enthält die Sammlung folgende:

No. 31 . . . Carminzinnober: Roth,
Kobaltblau: Blau.
„ 32 . . . Chromgelbcitron: Gelb,
Cohn's Hellgrau: Grau.
„ 33 . . . Chromgelbcitron: Gelb,
Scheel'sches Grün: Grünblau.
„ 34 . . . Seidengrün dunkel: Dunkelgrün.
Zinkgelb: Hellgelb.

Diese 34 Fläschchen (dazu ein rothes Glas), in einer ent-
chenden Schachtel untergebracht, bilden einen dauerhaften und
pendiösen Apparat zur leichten Diagnose der Farbenblindheit.

Gebrauchs-Anweisung.

1. Der zu Prüfende wird zunächst an den Fläschchen 1 bis 4 belehrt, dass es in der Sammlung Fläschchen gebe, welche nur Eine Farbe enthalten; dann an den Proben 5 bis 10, dass es Fläschchen gibt, welche je zwei gleiche oder zwei ähnliche Farbentöne von verschiedener Helligkeit einschliessen. Es wird dies zunächst an den Fläschchen mit zwei Blau und mit zwei Gelb (9 und 10), dann an den Fläschchen mit zwei Roth und zwei Grün (z. B. 6 und 8) erläutert.

2. Hierauf werden die Fläschchen auf einer dunklen Unterlage (einem Bogen schwarzen Papiers) durch einander gemischt und es wird der zu Prüfende aufgefordert, die Fläschchen in zwei Lager nach rechts und links zu theilen. In das eine Lager sind alle Fläschchen zu sortiren, welche nur Eine Farbe oder zwei gleiche, wenn auch verschieden helle Farbentöne enthalten; in das andere Lager jene Fläschchen, welche zwei verschiedene Farben enthalten.

3. Wer die Proben 1 bis 4 und alle oder einen Theil der Proben 5 bis 10 als gleichfarbig, alle andern als ungleichfarbig sortirt, ist Polychromatop (farbentüchtig, nicht farbenblind).

4. Wer die Proben 1 bis 4 und alle oder einen Theil der Proben 5 bis 10, ausserdem aber noch alle oder einen Theil der Proben 11 bis 24 auf die Seite der gleichfarbigen Fläschchen legt, ist Dichromatop und zwar Xanthokyanop (Gelbblausichtig, „Rothgrünblind").

5. Wer die Fläschchen 1 bis 4 und alle oder einen Theil der Fläschchen 5 bis 10 und ausserdem noch Fläschchen 25 bis 28 oder Fläschchen 29 und 30 für gleichfarbig hält, ist Dichromatop und zwar Erythrochlorop (Rothgrünsichtig, „Gelbblaublind").

6. Wer alle 34 Proben oder doch ausser den Proben 1 bis 10 noch einen Theil der Proben 11 bis 24, 25 bis 30, sowie einen Theil der Proben 31 bis 34 gleichfarbig sieht, ist Achromatop (wirklich oder total farbenblind).

7. Wer die Proben oder einen Theil der Proben 31 bis 34 für gleichfarbig, dagegen die Proben 11 bis 30 für ungleichfarbig erklärt, ist Simulant.

8. Ebenso ist Derjenige Simulant, der die pseudoisochromatischen Proben beim Durchsehen durch ein rothes Glas noch für gleichfarbig erklärt (pag. 107).

Die Mühe, welche die Zusammenstellung der genannten Pulverproben vielleicht erfordert, wird durch die Zeitersparniss reichlich aufgewogen, welche man fürderhin bei der Untersuchung auf Farbenblindheit erreicht. Die Probe ist die sicherste, die ich kenne. Keiner meiner Farbenblinden hat sie noch bestanden. In dem Bruchtheil einer Minute ist die Prüfung beendigt. Nur auf Einen Punkt will ich aufmerksam machen. Bei einem intelligenten Farbenblinden ist es mir passirt, dass er ganz unsinnig sortirte. Er wollte immer Fläschchen herauslegen, in welchem eine der Farben dem Blau oder Gelb der zur Probe vorgezeigten Doppel-Blau- und Doppel-Gelb-Fläschchen entsprach. Ich habe daraus gelernt, dass man dem zu Untersuchenden, nachdem man ihm das Fläschchen mit den beiden Blau von verschiedener Helligkeit und das Fläschchen mit den beiden Gelb von verschiedener Helligkeit vorgezeigt, aufmerksam mache, dass in vielen der anderen Fläschchen sich auch je zwei gleiche oder sehr ähnliche Farben finden, die aber nicht die Farben der vorgezeigten Blau- und Gelb-Fläschchen seien, und dass diese gleichfarbigen Fläschchen zu sortiren wären.

2.

Den pseudoisochromatischen Pulverproben im Werthe zunächst stehen die pseudoisochromatischen Wolltäfelchen von v. Reuss. Dieselben sind seit 1886 käuflich (bei F. Fritsch, Alserstrasse 17, Wien, 4 fl.). Sie sind nach demselben Princip verfertigt, wie die Pulverproben. Die Art des Gebrauchs ist dieselbe, wie bei den Pulverproben. „Die einzelnen Täfelchen sind aus grauem Stickpapier von 7,5 cm Breite und 5 cm Höhe; auf jedem sind je zwei farbige Quadrate von 14 mm Seite aus 7 Stickwollfäden gestickt. Solcher Täfelchen enthält die Collection im Ganzen 60.“ Die 60 Täfelchen sind in einer mässig grossen Schachtel vertical neben einander untergebracht. Aber während die Fläschchen ausgebreitet nur einen geringen Raum einnehmen, nehmen die Täfelchen, selbst knapp nebeneinandergelegt, einen Flächenraum von 2250 □cm ein. Man hat nicht immer einen so grossen Tisch zur Verfügung. Auch leidet der Ueberblick

und die Sortirung ist erschwert. Doch ist dies kein capitaler Fehler. Der Nachtheil der Wolltäfelchen im Vergleiche zu den Pulverproben liegt in dem Nachtheil der Wollen gegen die Pulver (pag. 104).

Den positiven pseudoisochromatischen Proben liegt eine ausserordentliche Beweiskraft inne. Wenn Jemand Fläschchen mit Roth und Grün, Orange und Grün, Rosa und Blaugrün u. s. w. als gleichfarbig sortirt, so kann ein Kind urtheilen, dass der Betreffende die Farben nicht kennt. Diese positive Probe ist stumm; nur die Hände arbeiten, der Mund bleibt geschlossen.

3.

Die negativen pseudoisochromatischen Proben dagegen (pag. 96) erfordern die Sprache und das Stummbleiben bedeutet Farbenblindheit. Die objectiven dieser Proben, die Stilling'schen Tafeln, erfordern Vorsicht. Man muss genau angeben, um was es sich handelt. Einmal ist es mir passirt, dass der Untersuchte auf keiner Tafel, auch nicht auf der für Simulanten bestimmten einen Buchstaben lesen konnte, bis sich mehr zufällig herausstellte, dass der Betreffende meinte, in jedem der die einzelnen Felder bildenden Quadrate oder Flecken sei ein Buchstabe eingetragen, den er natürlich, da er nicht vorhanden war, nicht zu erkennen vermochte. Die wirklichen Buchstaben und Zeichen las er dann sämmtlich. Auch davon will ich absehen, dass durch die Angabe Stilling's über Tafel IX (p. 98) mitunter ein totaler Xanthokyanop für einen Simulanten gehalten werden könnte. Frühere Bemerkungen deuten schon die schwache Seite der pseudoisochromatischen Buchstabenproben an. Die verschiedenen Xanthokyanopen haben zwar alle die gleichen Verwechslungsfarben, aber sie sehen die Verwechslungsfarben bald in grösserer, bald in geringerer Helligkeit. Sowie nur der geringste Unterschied in der Helligkeit zwischen Buchstaben und Grund (auch wenn beide gleich gefärbt erscheinen) hervortritt, kann der Xanthokyanops, der gleich allen Farbenblinden ein ausgezeichnetes Helligkeitsunterscheidungsvermögen besitzt, die Buchstaben anstandslos lesen. So trefflich die Stilling'schen Buchstabentafeln auch gemacht sind, so gibt es darunter sicher nicht eine Tafel, die nicht irgend ein Xanthokyanops lesen könnte.

Wenn man Buchstaben auf farbigem Grunde stickt, so wird die Sache noch schwieriger. Es müssen die beiden Wollen genau die gleiche Dicke, den gleichen Glanz, die gleiche Oberfläche haben, es muss genau mit derselben Art der Stiche Grund und Buchstabe gestickt werden, und wenn gleich eine etwaige Erhabenheit der Buchstaben über den Grund durch Pressen des Musters ausgeglichen werden kann, so ist damit, wie leicht ersichtlich, noch nicht Alles gethan.

Aber auch in dem oben Gesagten liegt nicht der Hauptfehler der Stilling'schen, wie der Pflüger'schen Proben. Der Hauptfehler ist die Negativität. Es soll Jemand für farbenblind erklärt werden, weil er einen verzwickten Buchstaben nicht lesen und weil er einen durch Florpapier gedeckten, auch dem Farbentüchtigen mehr oder minder undeutlichen Buchstaben nicht entziffern kann. Wenn gesagt wird: „Jeder, der durch Florpapier die letzte Reihe der 1. Tafel Pflüger's liest (pag. 100), ist für jeden Eisenbahn- und Marinedienst unzweifelhaft tauglich", so mag dieser Satz richtig sein. Aber umkehren lässt sich der Satz nicht. Ich wenigstens hätte nicht den Muth, Jemanden deshalb zum Eisenbahn- und Marinedienst für untauglich zu erklären, weil er die besagte Zeile nicht liest.

Aus alledem geht hervor, dass die Buchstaben Stilling's und Pflüger's immerhin in den Händen des practischen Augenarztes sich befinden mögen, dass aber mit diesen Behelfen allein ein gewissenhafter Arzt die Frage in Betreff der Farbenblindheit nicht entscheiden kann.

4.

Auch die „Wahlproben", welche darin bestehen, dass man dem zu Untersuchenden farbige Wollen (Holmgren) oder farbige Pulver (Cohn) oder farbige Papiere vorlegt und ihn nun auffordert, aus der Sammlung gleich- oder ähnlich-farbige Wollen, Pulver, Papiere herauszusuchen, können einerseits dadurch fehlschlagen, dass Farbenblinde nur die nach Ton und Nuance identische Farbe wählen, andererseits nicht Farbenblinde ihre Auswahl wie Farbenblinde treffen. Der Farbenblinde nämlich, dem es bangt, einen Fehler zu begehen, wird möglicherweise zu einer Purpurwolle nur wieder ein purpurenes Bündel von gleicher Helligkeit legen. Er sieht zwar gar manche Woll-

bündel in derselben Farbe, aber es findet sich vielleicht kein zweites, als das identische, welches genau dieselbe Helligkeit besitzt. Und an dieses klammert er sich. Der Aufforderung, nicht blos gleiche, sondern ähnliche Wollbündel zuzulegen, widersteht er standhaft. Andererseits kann der Farbentüchtige eben dieser letzten Aufforderung zum Opfer fallen. Nehmen wir einen farbigen Streifen an irgend einer Stelle des Spectrums, so ist die Farbe rechts wie links von diesem Streifen der Farbe des Streifens ähnlich. Da nun jeder der Nachbarstreifen wieder eine ähnliche Farbe zum Nachbar hat, und dies so bis an die Enden des Spectrums fortgeht, da mit einem Worte die Farbentöne des Spectrums vom rothen bis zum violeten Ende allmählig ineinander übergehen, so wäre es nicht undenkbar, wenn Jemand zu einer rothen Wolle als ähnlich eine rothgelbe, zu dieser eine gelbrothe, zu dieser eine gelbe, zu dieser eine gelbgrüne u. s. w. fortsortirte, bis er alle Farben des Spectrums als dem Muster ähnlich herausgelegt hätte. Aber von diesem allmähligen Uebergehen abgesehen, ist es nicht blos Intelligenz- und Urtheils-, sondern ich möchte sagen, Geschmackssache, was für Farben einem farbentüchtigen Individuum ähnlich erscheinen. Wenn mir Jemand behauptet, dass ihm Grün und Blau, oder Roth und Gelb sehr ähnliche Farben sind, so kann ich dies wissenschaftlich nicht widerlegen, denn über Empfindungen lässt sich nicht streiten. Dieselben oder wenigstens ganz ähnliche Einwände sind auch schon von anderer Seite gegen die Wahlproben erhoben worden.

---

§ 14. Untersuchungsapparat.

Jedem Augenarzte, der auf seinem Zimmer Prüfungen auf qualitative und quantitative Störungen des Farbensinns vorzunehmen hat und der ausschliesslich praktische Zwecke verfolgt, mögen daher zu Gebote stehen:

1. Die positiven pseudoisochromatischen Pulverproben (Mauthner).
2. Die positiven pseudoisochromatischen Wolltäfelchen (v. Reuss).

3. Die negativen objectiven pseudoisochromatischen Tafeln (Stilling).
4. Die negativen subjectiven pseudoisochromatischen Tafeln (Pflüger).
5. Die Wollen für die Wahlproben (Holmgren).

Endlich für die Prüfung des „schwachen“ Farbensinns, d. h. die Prüfung quantitativer Störungen des Farbensinns:

6. Der Apparat Chibret's (pag. 47, 79, 124), der, so lange die Einrichtung desselben dem Farbenblinden nicht bekannt ist, auch zur qualitativen Prüfung sich gut eignet. Dieser Apparat ist, da wir mit demselben eine Unzahl von Sättigungsgraden bieten können, zum Zwecke der quantitativen Farbenprüfung der chromatoptometrischen Tafel Ole Bull's, sowie den nach ähnlichen Principien hergestellten Farbenmessern Kolbe's (Farbensättigungstafel und Farbenmesser mit rotirenden Kegelstumpfen) und der Farbentafel von Joy Jeffries vorzuziehen.

Man beginnt mit den pseudoisochromatischen Pulverproben oder Wolltäfelchen. Ist das Resultat positiv, so mag man noch zur Bestärkung nach Stilling und Pflüger prüfen und mit der Probe von Holmgren schliessen. Fällt die erste Prüfung negativ aus, so ist wenig Aussicht vorhanden, dass die folgenden Proben ein positives Resultat geben werden. Aus eigener Erfahrung ist mir dies nicht bekannt. Kein Farbenblinder hat die Fläschchen richtig sortirt und ist erst durch die anderen Proben überführt worden. Trotzdem versäume man nicht, in jedem Falle, wo die Zeit es gestattet, alle vier Proben in der genannten Reihenfolge auszuführen. Sind die Angaben schwankend und widersprechend, so denke man daran, dass es sich vielleicht nur um eine quantitative Störung des Farbensinns handelt. Da wird Chibret's Apparat die richtige Auskunft geben.

Wer sich aber nicht blos mit den rein praktischen Hilfsmitteln begnügen, sondern auch eine mehr wissenschaftliche Seite den Farbenprüfungen abgewinnen will, dem bleibt keiner der früher angeführten Behelfe erspart:

1. Radde's Farbentafel.
2. Der Spectralapparat.

3. König's Ophthalmo-Leukoskop.
4. Die für den Simultancontrast (Florcontrast, Spiegelcontrast, Schattenprobe) nöthigen Hilfsmittel.
5. Der Farbenkreisel.

Ich habe nicht ohne Bedacht von den Untersuchungen gesprochen, die der Arzt auf dem Zimmer vornimmt. Ich halte es nämlich für ganz und gar unpassend, dass Massenuntersuchungen des Eisenbahn- und Marinepersonales im Zimmer und nach den obigen Methoden ausgeführt werden.

Da sollte nur Eine Untersuchungsart gestattet sein — direct auf der Strecke oder an den Schiffsignalen. Das Eisenbahnpersonal soll direct bei Nacht an den farbigen (rothen und grünen) Lichtern geprüft werden. Es muss festgestellt werden, dass Roth und Grün auf die nöthige Entfernung prompt unterschieden wird. Diese Prüfungsart erfordert allerdings, dass der Untersuchte Roth und Grün nicht durch ihre verschiedene Helligkeit zu unterscheiden vermag. Daher muss durch ein vom Prüfungsorte ausgehendes telegraphisches Signal der bei den Prüfungsobjecten fungirende Wächter angewiesen werden können, bald das rothe, bald das grüne Licht durch das Vorschieben eines zweiten, auch dritten rothen, resp. grünen Glases zu verdunkeln und dabei die Stellung der rothen und der grünen Lichter gegen einander beständig zu ändern. Wer unter diesen Verhältnissen Roth und Grün stets prompt unterscheidet, ist farbentüchtig. Wer auch nur ein einziges Mal Roth grün oder Grün roth nennt, ist Xanthokyanop und für den Eisenbahndienst, solange nicht eines der beiden Signale durch Blau ersetzt wird, vollkommen untauglich. Diesen Prüfungen sollten immer einige farbentüchtige Eisenbahnbedienstete beigezogen werden, damit sie die Ueberzeugung gewinnen und Anderen beibringen können, dass ihren zurückgewiesenen oder entlassenen Kameraden kein Unrecht geschieht.

---

§ 15. Noch Einiges über Xanthokyanopie.

Um die Methoden zur Prüfung des Farbensinns zu erörtern, konnten wir nicht umhin, die angeborene Farbenblindheit überhaupt abzuhandeln. Wir haben noch Einiges über die Angaben

der Farbenblinden und über die Statistik der Farbenblindheit nachzutragen. Wir sprechen zunächst nur von den Xanthokyanopen.

Dem Rothgrünblinden sind von früher Jugend an gewisse Aussprüche ihrer Mitmenschen unbegreiflich. Sie begreifen nicht, warum man von Abend- und Morgen„röthe“ spricht, da es doch nur eine Abend- und Morgen„gelbe“ gibt; sie verstehen auch nicht, wie man das Feuer roth nennen kann, da es doch gelb ist. Ebensowenig wissen sie, was die Menschen mit der Vielfarbigkeit des Regenbogens haben wollen, da derselbe doch nur und zwar überaus deutlich aus zwei farbigen Streifen, einem gelben und einem blauen, zusammengesetzt ist. Gegenüber diesen gewöhnlichen Erscheinungen bewähren sie sich klar als gelbblausichtig. Den Objecten der Natur und Kunst gegenüber, welche nicht in einem gesättigten oder wenigstens lichtstarken „gelben“ Ton und die ihnen daher *braun* erscheinen, haben sie nicht die Stärke der Ueberzeugung. Sie wissen, dass solche Objecte von anderen Menschen entweder roth oder grün oder braun genannt werden. Sie wissen, dass die Wälder im Sommer grün und dass das Blut roth ist; sie wissen aber auch, dass sie die rothen Erdbeeren im grünen Grase nicht sehen und dass das Grün der Nadelwälder und das Roth des Blutes für sie genau die gleiche Farbe, ja in der Regel sogar die gleiche Farbennuance hat. *Es sei hier bemerkt, dass wenn man wissen will, wie der als Xanthokyanops Erkannte die Farben sieht, man ihm die Streifen 7, 19 und 31 des Radde'schen Index, welche alle Nuancen des Gelb, Blau und Grau enthalten, oder analog abgestufte Reihen gelber, blauer und grauer Wollen, Papiere, Pulver vorlegen muss. Dann wird der Xanthokyanops in der Lage sein, anzugeben, wie er die Farben wirklich sieht; dann werden auch wir in die Lage kommen zu erfahren, wie der Farbenblinde die Farben sieht.*

Würden also die Xanthokyanopen belehrt, dass sie Roth, Grün und Braun genau so sehen, wie wir das Braun, so würden sie, um den Farbeneindruck befragt, stets antworten: Braun; so aber wissen sie nur — wir sprechen begreiflich von intelligenten Individuen —, dass es sich um jene verrätherische Farbe handelt, die sie nicht kennen und desshalb wollen sie nicht mit der Sprache heraus. In einer farbenblinden Familie (die gleich später unser Interesse noch in anderer Beziehung erregen wird) haben sich

die farbenblinden Brüder geeinigt, jene verdächtige Farbe „Rax“-farbe — ein Wort, über dessen Etymologie die Erfinder selbst keinen Aufschluss zu geben vermögen — zu nennen. Bei der Farbenprüfung erhält man dann zur Antwort: Blau, Gelb, Grau, allenfalls Gelbblau und Rax. Dass das „Rax“papier oder die „Rax“wolle für uns roth oder grün oder braun ist, aber auch grau (pag. 204) sein kann,. braucht nicht erst besonders versichert zu werden.

Auf der anderen Seite ist es den Xanthokyanopen vollständig unbegreiflich, wie man von Rosen„roth“ oder von Wangen„roth“ sprechen kann, denn die Rose wie die Wange der blühenden Jungfrau, sie sind doch so — blau, wie der wolkenlose Himmel. Dem innersten Herzenszuge folgend, hätte gewiss schon manch' farbenblinder Dichter die „blauen“ Wangen seiner Geliebten besungen, wenn er sich nicht der (in den Augen der Farbenblinden) die Farben nicht kennenden Majorität, die an der „Röthe“ der Wangen zäh festhält, einfach gebeugt hätte. Schon Goethe hat die Frage erörtert, wie die „Akyanoblepsen“ (unsere Xanthokyanopen), die einerseits gelbe und grüne, andererseits rosa, blaue und violete Farbentöne verwechseln, die Farben sehen. Er ist nach seiner Theorie in Betreff der einen Farbe zu richtigen Schlüssen gelangt, jedoch zu unrichtigen in Betreff der zweiten. Wenn Goethe sagt, dass der „Akyanobleps“ „alles Grün in Tönen vom Gelben bis zum Braunrothen sieht, ungefähr wie es uns im Herbste erscheint“, so ist dies (wenn wir nur statt Braunroth Braungelb, d. i. schlechtweg Braun setzen) vollkommen richtig, und in jener historisch interessanten Landschaft (Goethe's Tafel I, Fig. 11), welche Angelika Kauffmann über Goethe's Wunsch ohne Blau gemalt (zu dem Zwecke, dass man sich eine Vorstellung machen könne, wie der Akyanobleps die Welt sieht), sind die Farbentöne des „grünen“ Waldes ganz zutreffend. Dagegen konnte Goethe nicht der Ansicht sein, dass das Purpur der Rose und der Wangen dem Xanthokyanopen blau wie der Himmel erscheine, sondern er musste nach seiner Theorie im Gegentheil meinen, dass der Farbenblinde den Himmel rosafarb sieht wie die Rose. So findet man auch in jener Landschaft einen Himmel mit rosa Anstrich und noch einige purpurfarbene Objecte; jedoch ist die Purpurfarbe, nebenbei bemerkt, derartig, dass sie der Farbenblinde meistens gar nicht für blau, sondern für grau oder blaugrau hält.

Schon die erste Beobachtung, durch welche Dalton die Farbenblindheit an sich entdeckte, hätte das Wesen derselben aufdecken sollen. Er machte die Beobachtung, dass eine Blüthe von Geranium zonale, welche ihm am Tage blau vorkam und die in Wirklichkeit purpurn ist, bei Kerzenlicht in einer rothen, „der blauen ganz entgegengesetzten“ Farbe erschien. Es ist dies eine sehr häufige und den Farbenblinden besonders frappante Erscheinung, dass sie bei künstlicher Beleuchtung gewisse Objecte in der entgegengesetzten Farbe sehen, wie am Tage. Einem Farbenblinden fällt es z. B. auf, dass eine „blaue“ Busennadel Abends „gelb“ erscheint, oder dass die „blaue“ Farbe seiner sammtenen Möbel Abends in „Gelb“ umschlägt. Besieht man sich die Farben, bei welchen dieser Umschlag erfolgt, so erkennt man, dass die Busennadel durch eine rosa Koralle dargestellt wird und dass der Sammt blaugrün ist. Rosa ist ein weissliches Purpur; bei Tage wird das Roth (Gelb) vom Blau überwogen, wesshalb die Nadel blau erscheint, während am Abend in der gelbrothen Beleuchtung die Reflexion des rothen Lichtes vermehrt wird und so das rothe Licht über das blaue das Uebergewicht erlangen kann. Das Aehnliche gilt vom Blaugrün, wo das erflectirte Grün (Gelb) durch die stärkere Reflexion von Gelb am Abende einen Succurs erfährt. Kobaltblau bleibt aber am Abend blau. Es müsste, wenn der Roth-Blinde im Purpur überhaupt kein Roth empfände, Blau am Abende dieselbe Wandlung erfahren wie Purpur und doch hatte schon Dalton erkannt, dass diese Farbenwandlung nicht dem Blau, sondern dem Purpur zukomme.

Der Farbenblinde besitzt schwarzweissen Objecten gegenüber normales Sehvermögen, d. h. beim Xanthokyanopen wenigstens steht eine etwaige Herabsetzung von V nicht im Zusammenhange mit der Farbenblindheit. Es besitzt ferner nicht blos ein ausgezeichnetes Helligkeitsunterscheidungsvermögen, sondern er empfindet auch die Farben mitunter mit grösserer Intensität als das Normalauge. Je leichter ein Auge die Contrastfarben im Simultancontrast erzeugt, um so intensiver — können wir annehmen — ist die Empfindung der inducirenden Farben. Wenn ich (und das Gleiche ist bei vielen Anderen, die ich prüfte, der Fall) auf ein farbiges Blatt des Heidelberger Farbenbuchs den grauen Ring einfach auflege, so sehe ich absolut nichts von der Contrastfarbe;

sie tritt erst prächtig hervor, sobald ich das Florpapier darüber decke. Es gibt aber Rothgrünblinde, die nicht bloss auf Gelb und Blau, sondern auch auf jenen Farben, für die sie nach den gangbaren Theorieen blind sind, die Contrastfarbe sofort empfinden, sobald nur der graue Ring auf die farbige Unterlage einfach aufgelegt wird. Sie sehen also nicht bloss den Ring gelb, sobald er auf Blau, und blau, sobald er auf Gelb gelegt wird, sondern er erscheint auch sofort in der Contrastfarbe, nämlich dunkelblau, sobald er auf Grün und sogar und zwar bräunlich, sowie er auf Rosa aufgelegt wird.

Was über die Simultancontrastproben im Allgemeinen gilt, gilt im Besonderen auch von den Tafeln Pflüger's. Auch an diesen Tafeln kann man sich überzeugen, dass Farbenblinde mitunter für jene Farben, für welche sie blind sein sollen, ein feineres Empfindungsvermögen haben, als die Farbentüchtigen, indem sie die z. B. auf grünen Grund gedruckten grauen und schwarzen Buchstaben in der Gegenfarbe (Blau) sehen, während der Farbentüchtige zur Hervorrufung der Gegenfarbe erst eines Deckblattes aus Seidenpapier bedarf.

Trotz alledem kann der Farbenblinde in folge seines Fehlers in gefährliche oder groteske Situationen gerathen. Ich kenne einen Fall, in dem ein Xanthokyanop auf einer Gebirgsparthie sich in gefährlicher Weise verirrte, weil er die rothen Markirungen an den mit Moos bewachsenen Baumstämmen absolut nicht aufzufinden vermochten. Grotesk war folgendes Erlebniss.

Eine Jagdgesellschaft kehrt zum Schlosse des Jagdherrn heim und setzt sich zum Mahle. Man spricht von den Namen, die auf den verschiedenen Serviettenbändern sich finden. Einer der Gäste erklärt, dass sein Band namenlos sei. Nun war aber auf dem braunen Grunde desselben das Wort: „Marie“ mit grossmächtigen rothen Buchstaben gestickt. Als man sich überzeugt hatte, dass die Behauptung kein Scherz sei, malt sich allgemeines Erstaunen, ich möchte sagen Entsetzen auf allen Gesichtern — denn mit einem Menschen, der so blind ist, dass er nicht einmal die grössten Buchstaben lesen kann — auf die Jagd zu gehen, ist doch etwas mehr als bedenklich. Ich konnte die Gesellschaft beruhigen, dass es sich nicht um einen Blinden, sondern nur um einen Farbenblinden handle. In der That waren für den be-

treffenden Xanthokyanopen das Roth und Braun nicht blos der Farbe, sondern auch der Helligkeit nach so vollkommen identisch, dass er absolut nicht im Stande war, Schrift und Grund zu unterscheiden. Allein bei längerem Studiren brachte er doch den Namen heraus, indem er gefunden hatte, dass die Art der Stiche, mit welchen der Name gestickt war, von der Art der Stiche des Grundes abwich.

Die Verkürzung des Spectrums am rothen Ende ist eine eigenthümliche Complication der Xanthokyanopie. Dass diese Verkürzung, wo sie vorkommt, nicht einfach durch „Roth"blindheit erklärbar ist, geht daraus hervor, dass das Spectrum fast bis zur Linie D verkürzt sein kann. Das Auge ist daher dann auch zum guten Theile der Gelbempfindung unzugänglich — eine Thatsache, die in Rothblindheit ihre Begründung nicht findet.

Man hat bei Farbenblinden gewisse Defecte im Hirnbau und damit im Zusammenhange eine Verringerung des Augenabstandes finden wollen (Niemetschek), allein Cohn sowie Holmgren haben gezeigt, dass diese Annahme jeder Basis entbehre.

Die Statistik der Farbenblindheit wurde durch Massenuntersuchungen in vieler Herren Ländern in den letzten 2 Decennien sehr wesentlich gefördert. Man kann aus den Angaben von Holmgren, Daae, Fontenay, Hansen, Cohn, Magnus, Stilling, v. Reuss, Dor, Wilson, Joy Jeffries, Krohn, Kolbe, Brailey u. v. A. den Schluss ziehen, dass auf 10,000 männliche Individuen wenigstens 300 Farbenblinde, auf 10,000 weibliche Individuen hingegen höchstens 30 Farbenblinde kommen, so dass demnach die Farbenblindheit als eine Eigenheit des männlichen Geschlechts angesehen werden muss.

Macgowan (1882), der in China und Japan keinen Farbenblinden auffinden konnte, meint, dass die Farbenblindheit nur bei den Europäern vorkomme. Dieser Angabe trat jedoch Roberts (1882) bald entgegen, indem er darauf hinwies, dass Joy Jeffries, sowie Burnett unter den Negern gegen 2 % und Almquist bei den Tschuktschen 3 % Farbenblinde constatirte. Fragt man, ob irgend eine Rasse für Farbenblindheit besonders disponirt sei, so muss bemerkt werden, dass Cohn, Brailey wie Roberts darauf aufmerksam machten, dass sich unter den Juden mehr Farbenblinde finden als unter Nichtjuden. Roberts leitet dies davon ab, dass er Rothhaarigkeit und Farbenblind-

heit in Zusammenhang bringt, indem in seiner Untersuchungsreihe nahezu 42 % der Farbenblinden rothes Haar hatten. Da nun die Juden nach Roberts zu jenen Raçen gehören, bei denen Rothhaarigkeit häufig ist, so erklärt sich daraus der höhere Procentsatz der Farbenblinden.

In Betreff des gewaltigen Unterschiedes in der Zahl der farbenblinden Männer und Frauen meint Chibret (1887), dass diese Resultate daher rühren, dass man stets nur die Farbenerziehung, die allerdings beim weiblichen Geschlechte unendlich vollkommener als beim männlichen sei, und nicht den Farbensinn geprüft habe. Bei Verwendung seines Apparates werde man überhaupt weniger Farbenblinde und denselben Procentsatz für das männliche wie für das weibliche Geschlecht finden. Diese Auffassung ist gewiss nicht richtig. Denn wenn z. B. Brailey (1881), mit der Holmgren'schen Wahlprobe unter 18000 Personen 4,76 % farbenblinde Männer und nur 0,4 % farbenblinde Frauen findet, so kann diese ungeheuere Differenz zwischen Männern und Frauen nicht der Untersuchungsmethode zur Last gelegt werden.

Die Farbenblindheit ist erblich. In farbenblinden Familien kann Rothgrünblindheit und totale Farbenblindheit vorkommen, dagegen weiss man über die Erblichkeitsverhältnisse der Gelbblaublindheit vorläufig noch nichts. Die Farbenblindheit kann eine Generation überspringen, wobei der Fehler nicht durch die nicht farbenblinden Söhne, sondern durch die nicht farbenblinden Töchter von Grossvater auf Enkel übertragen wird (Horner). O. Becker meint, im Hinblick auf die von ihm beobachtete einseitige Farbenblindheit eines weiblichen Individuums, dass vielleicht die genauere Untersuchung der angeblich nicht farbenblinden, aber die Farbenblindheit ihren Kindern einimpfenden weiblichen Mitglieder farbenblinder Familien einseitige Farbenblindheit häufiger entdecken liesse.

Ich kenne eine hochadelige Familie, deren Stammbaum also sehr genau verfolgt werden kann — jene Familie, der die Erfinder der Raxfarbe angehören — in welcher mütterlicherseits durch Generationen Blindheit erblich war, so dass ein Theil der Mitglieder blind geboren wurde oder später erblindete (sicherlich in Folge von Sehnervenleiden). Die Amaurose ist nun erloschen, aber die gegenwärtigen erwachsenen männlichen Sprossen sind zum Theile farbenblind — Xanthokyanopen. Ein junger

Sprössling des einen Xanthokyanopen jedoch zeigt nach einer mir vor Jahren gewordenen Mittheilung auch keine Zeichen von Farbenblindheit mehr. Für den Darwinianer exaltirter Richtung äge hier eine Wiederholung der Entwickelungsgeschichte vor, wie nämlich aus blinden Geschöpfen sich endlich sehende entwickelten, die aber noch einen defecten Farbensinn hatten, bis es endlich durch weitere Entwickelung und Uebung des Sehorgans zur Ausbildung des normalen Farbensinns kam.

Eine Entwickelung des Farbensinns in historischer Zeit wurde in der That von Geiger, Magnus, Gladstone (der schon früher die Farbenblindheit Homer's zu beweisen versucht hatte), Weise angenommen: eine solche Auffassung ist aber durch Philologen, Philosophen und Ophthalmologen (Schuster, Jordan, Steinthal, Krause, Marty, dann Dor, Cohn) uf's Gründlichste widerlegt.

Sprachliche Unterscheidungen der Farben können fehlen, wie dies z. B. Hermann Cohn (1879) für die Nubier nachgewiesen hat.

Die Farbenblindheit ist unheilbar, d. h. es gelingt in keiner Weise, ein dichromatisches oder achromatisches Spectrum in ein polychromatisches umzuwandeln. Dagegen ist, wir mir scheint, noch viel zu wenig Gewicht darauf gelegt, dass mit Hilfe farbiger Gläser die Farbenblindheit wenigstens bei vielen Beschäftigungen unschädlich gemacht werden könne. Der Farbenblinde unterscheidet pseudoisochromatische Farben insolange, als eine constante Differenz in der Helligkeit derselben besteht. Hat z. B. ein Xanthokyanop es stets nur mit einem gewissen Roth und Grün zu thun, wobei das Roth ihm etwa dunkler als das Grün erscheint, so wird er dieses Roth mit diesem Grün niemals verwechseln und daher kommt es auch, dass wenn nicht Sturm und Wetter die Anhaltspunkte verwischen, ein xanthokyanopischer Eisenbahnbediensteter die rothen und grünen Signalzeichen richtig unterscheidet. Ist aber die Helligkeit der beiden pseudoisochromatischen Farben gleich, dann ist es mit diesem Auskunftsmittel vorbei. Damit ist nicht gesagt, dass alle Finten des Xanthokyanopen hiermit erschöpft wären; er wird sich noch an andere physicalische Eigenschaften klammern und wenn die verschieden gefärbten Objecte etwa constante Differenzen in Consistenz oder Beschaffenheit der Oberfläche (Glanz, Rauhigkeit)

zeigen, dieselben gewiss zu seinem Vortheil ausnützen. Aller mit alledem reicht er begreiflicher Weise im Allgemeinen nicht aus. Die Farben erlernen zu wollen, ist für den Farbenblinden ein vergebliches Bemühen. In jenem Brief des farbenblinden Dr. Brandis aus Kopenhagen vom Jahre 1811, den Goethe als „Aelteste aufmunternde Theilnahme" in seinen Nachträgen zur Farbenlehre abgedruckt hat, ist schon drastisch dargestellt, wie ein gleichfalls xanthokyanopischer Neffe Brandis' als Lehrling einer Seidenhandlung dieselbe verlassen musste, weil er „den Käufern Himmelblau für Rosenroth verkaufte" und weil, nachdem er an Farbentafeln mit grösster Ausdauer die Farben studirt hatte, „das Resultat der Gelehrsamkeit das war, dass der nächste Käufer Rosenroth für Himmelblau erhielt". Hätte man aber diesem Knaben ein rothes Glas gegeben, so hätte er nie mehr die beiden Farben verwechselt.

Sowohl die gelben, als auch die blauen und grauen Verwechslungsfarben erleiden nämlich durch ein rothes Glas ganz characteristische Veränderungen in der Helligkeit. Mit Hilfe eines rothen Glases wird weder Roth, Grün und Braun, noch Purpur, Violet und Blau, noch Grau, Blaugrün, Purpur mit einander verwechselt werden können. Nehmen wir für jede Farbenreihe ungefähr gleiche Helligkeit, so wird durch ein rothes Glas: Roth am hellsten, Grün am dunkelsten, Braun steht in der Mitte; Purpur am hellsten, Blau am dunkelsten, Violet in der Mitte; Purpur am hellsten, Blaugrün am dunkelsten, Grau in der Mitte. Eine „gelbe" (braune, „Rax") Farbe, die durch ein rothes Glas viel heller wird (gesättigtes Roth wird fast weiss), ist Roth, eine solche Farbe, die dabei viel dunkler wird (gesättigtes Grün wird fast schwarz), ist Grün, während jene, die ihre Helligkeit nur wenig ändert, Braun ist. Eine „blaue" Farbe, die durch das rothe Glas viel heller wird (fast weiss), ist Purpur; eine solche, die viel dunkler wird (fast schwarz), ist Blau, und jene, die ihre Helligkeit wenig verändert, ist Violet. Eine graue Farbe endlich, die durch ein rothes Glas fast weiss wird, ist Purpur; jene, die fast schwarz wird, Blaugrün, und jene, die ihre Helligkeit wenig ändert, Grau. Ich bin überzeugt, dass die Farbenblinden, in dieser Weise geübt, in der Unterscheidung der Farben eine hohe Vollkommenheit erlangen

werden. Dass Roth und Grün, Rosa und Blau, Purpur und Blaugrün überhaupt, auch ohne weitere Uebung, durch ein rothes Glas nicht verwechselt werden, liegt auf der Hand — denn nur der, der Weiss und Schwarz nicht unterscheiden könnte, könnte die Farben auch jetzt nicht sondern. Ein Stück rothen Glases oder eine Lorgnette (Nasenzwicker) mit rothen Gläsern wird daher Xanthokyanopen, wenn sie entsprechend belehrt und geübt sind, im kaufmännischen und gewerblichen Berufe die ausserordentlichsten Vortheile gewähren. Für den Eisenbahn- und Marinedienst ist der Behelf, wiewohl auch hier von Delboeuf ein rothes und grünes Glas empfohlen wurde, der Natur der Sache gemäss, ohne Werth, denn bei Wind und Wetter möchte ich mich keinem Locomotivführer anvertrauen, der erst durch ein rothes, sowie durch ein grünes Glas (das letztere ist übrigens ganz überflüssig) durchsehen muss, um Roth und Grün an der Helligkeitsdifferenz zu unterscheiden. Dem Erythrochlorops (Gelbblaublinden) würde ein blaues Glas analoge Dienste leisten.

Eine weise Lehre geht aus dem Gesagten hervor, eine Lehre und eine Warnung, gerichtet an die Eisenbahnen, die Marine und die — Touristenclubs. Die Touristen mögen ihre Markirungszeichen nur aus den Farben Weiss, Blau und Gelb zusammensetzen und Eisenbahnen und Schiffe mögen entweder das rothe oder das grüne Signal durch ein blaues ersetzen. Es wäre dies bei den Eisenbahnen besonders wichtig wegen der Farbenblindheit, die erst im Dienste erworben wird.

---

§ 16. Die erworbene Farbenblindheit.

Die erworbene Farbenblindheit ist ein hochinteressantes Capitel der Gehirn- und Netzhautpathologie. Die Prüfung vereinfacht sich insofern, als die Patienten früher die Farben kannten und häufig noch mit Einem Auge kennen. Wenn man daher einfach einerseits grössere farbige Muster (Papiere, Wollbündel), andererseits kleine Farbenquadrate auf schwarzem Grunde vor-

zeigt, erhält man leicht einen beiläufigen Einblick in die qualitative oder quantitative Störung. Allein gerade bei erworbener Farbenblindheit ist es von ausgezeichnetem Interesse, die Prüfung mit allen jenen Hilfsmitteln, die uns bei der Untersuchung der angeborenen Farbenblindheit zu Gebote stehen, vorzunehmen. Von derartigen fortgesetzten Untersuchungen ist zu hoffen, dass sie uns noch manche Aufschlüsse über viel Dunkles in den Erscheinungen namentlich der erworbenen Farbenblindheit liefern werden. Von ganz besonderem Werthe ist auch die Prüfung des Farbensinns in der Netzhautperipherie.

Ueber diese Prüfung, die gleichzeitig mit der Prüfung des centralen Farbensinns vorgenommen wird, wird in der Lehre vom Gesichtsfelde ausführlich gehandelt werden. Hier sei nur auf einen hochwichtigen Unterschied in der Störung des centralen Farbensinns aufmerksam gemacht. Sind die Nervenfasern, welche die Macula lutea versorgen, leidend, dann beginnt die centrale Farbenstörung mit der mangelhaften Perception von Roth und Grün, während Gelb und Blau zu dieser Zeit noch normal empfunden werden. Liegt dagegen eine Erkrankung der Zapfen der Macula vor, sei es, dass der primäre Sitz der Krankheit in der Netzhaut (Retinitis e morbo Brightii) zu suchen ist, sei es, dass derselbe in der Aderhaut sich findet und so das Leiden von der Aderhaut auf die Netzhaut übergegriffen hat (Chorioiditis ad maculam) oder endlich dass die Zapfen bei Ablösung der Netzhaut unter dem Reize des subretinalen Fluidums erkranken, dann kann allerdings eine Störung des Farbensinns fehlen; wenn eine solche aber da ist, dann handelt es sich nicht um veränderte Perception des Roth und Grün, sondern um eine Störung der Gelblauempfindung und zwar um jene Form der Erythrochloropie, bei welcher Blau grün und Gelb (Orange) roth erscheint. Sind wir unter Umständen nicht in der Lage nachzuweisen, ob Fasern oder Zapfen erkrankt sind, so kann die Feststellung, ob Rothgrün- oder Gelbblaublindheit vorliegt, uns zur Erkenntniss des krankhaften Processes führen. So habe ich meine Ansicht, dass die Sehstörung bei Glaucom von der Schichte der Stäbe und Zapfen ausgeht, in ganz unerwarteter Weise dadurch bestätigt gefunden, dass ich in Fällen centraler Sehstörung bei exquisitem Glaucom die Störung des Gelbblausinns nachzuweisen in der Lage war.

Es war im Jahre 1881, dass ich das Vorkommen der Erythrochloropie bei macularer Zapfenerkrankung nachwies [1]). Dreizehn Jahre mussten jedoch verstreichen, bis R. Simon (1894) [2]) auf Grund eigener Beobachtungen seine Verwunderung darüber aussprach, dass es im Allgemeinen noch immer nicht bekannt ist, dass Zapfenerkrankung Gelbblaublindheit bedingen kann.

---

§ 17. Farbentheorien.

Wir berücksichtigen nur zwei der zahlreichen Theorien, und zwar die Dreifarben-Theorie, nach welcher der Farbentüchtige ein Trichromatop ist und die Vierfarben-Theorie, die den Farbentüchtigen zum Tetrachromatopen stempelt.

Die Dreifarben-Theorie.

Die Dreifarben-Theorie wurde von Christian Ernst Wünsch in Leipzig im Jahre 1792 begründet. Er fand durch Mischung von Spectralfarben, dass Roth, Grün und Violet einfache Farben seien, dass dagegen das spectrale Gelb durch Mischung von intensivem Roth und intensivem Grün, das spectrale Blau durch Mischung von gesättigtem Grün und gesättigtem Violet erzeugt wird. Ja noch mehr! Wünsch wusste bereits, dass spectrales Gelb und Indigoblau gemischt Weiss geben, während durch Mischung gelber und blauer Pigmente ein mehr oder weniger schönes Grün zu Stande komme.

Im Jahre 1807 hat Thomas Young dasselbe als Hypothese verlautbart. Als wahrer Naturforscher beeilte er sich jedoch hinzuzufügen, dass seine Annahme, dass man das weisse Licht so betrachten könne, als wäre es aus einem Gemische von nur 3 Farben (Roth, Grün und Violet) zusammengesetzt, so dass die Gelb-Empfindung sich aus einem Gemische der Empfindungen von Roth und Grün, die Blau-Empfindung aus einem Gemische der Empfindungen von Grün und Violet componire, solange zulassen kann, bis sich diese Hypothese mit irgend einem Phänomen als unverträglich erwiese.

Die Theorie, dass es in der Netzhaut drei Arten empfindender Elemente gibt, und dass diese roth-, grün- und

---

1) Wiener med. Wochenschrift, No. 39, 1881.

2) Hirschberg's Centralblatt, Maiheft 1894.

violet-empfindend sind, hat v. Helmholtz bis zum Jahre 1889 festgehalten. In der 5. Lieferung der zweiten Auflage der „Physiologischen Optik“ (pag. 347) führt er noch aus, dass in der That diese Farben, wenn sie sehr rein sind, selbst bei geringer Helligkeit etwas intensiv Glühendes, fast Blendendes haben. Am meisten ist es das Violet, das auf Helmholtz diesen Eindruck einer tief gesättigten Farbe macht. Er erwähnt auch noch, dass die Venetianische Malerschule, die besonders durch die tiefe Farbengluth ihres Colorits wirkt, die Zusammenstellung dieser drei Grundfarben (Roth, Grün und Violet) vorzugsweise liebt.

Und doch war diese ganze, so überzeugende Gluth schon dem Erlöschen nahe. Bereits in dem nächsten, dem 6. Hefte der „Physiologischen Optik“ (1892) haben die drei Grundfarben: Roth, Grün und Violet, die gerade durch hundert Jahre (von 1792 bis 1892) von Wünsch bis Helmholtz den Denkern imponirt hatten, ausgerungen. Im Jahre 1892 setzt v. Helmholtz (6. Heft, pag. 456) an Stelle der früheren 3 Grundfarben die 3 neuen, nunmehr Elementar- oder Urfarben (der Name Urfarbe wurde von Preyer eingeführt und dann von Hering aufgenommen) genannten Grundfarben. Das spectrale Roth und Violet (die Endfarben des Spectrums) sind keine Grundfarben, sondern stark gemischt. Das spectrale Roth ist eine weissliche und eine wenig gelbliche Modification der neuen Grundfarbe Roth, die sich im Spectrum nicht findet und die ein höchstgesättigtes Carminroth darstellt. Das spectrale Violet, das früher der Empfindung als Grundfarbe sich aufdrängte, ist doch nur eine weissröthliche Abänderung der zweiten Urfarbe Blau, die mit dem Ultramarinblau im Farbenton zu vergleichen ist. Die dritte Urfarbe endlich ist nicht mehr Grün, sondern ergibt sich als ein gelbliches Grün. Da es sich herausgestellt hat, dass die frühere Grundfarbe Roth, das spectrale Roth, Rothgelb ist, so hat v. Helmholtz an Stelle der früheren Grundfarben:

Rothgelb, Grün, Violet

nunmehr die Urfarben:

Roth, Grün-Gelb, Blau

gesetzt. Noch 1889 hatte v. Helmholtz das Blau als Grundfarbe zurückgewiesen.

Lassen wir in den 3 Urfarben von v. Helmholtz den Bindestrich im Grün-Gelb weg und setzen dafür einen Beistrich, so haben wir die 4 Urfarben Hering's: Roth, Grün, Gelb, Blau.

Die ursprüngliche Theorie mit den drei, Roth, Grün und Violet empfindenden Elementen lehrt:

Das einfache Roth (d. h. Licht jener Wellenlänge, welches in unserem Auge die Empfindung von Roth hervorruft, d. i. Licht mit einer Wellenlänge von 760 bis 660 Millionstel Millimeter, reichend von der Frauenhofer'schen Linie A bis C) erregt stark die rothempfindenden, schwach die beiden anderen Elemente; Empfindung: Roth.

Orange erregt sehr stark die rothen (rothempfindenden), stark die grünen, schwach die violeten Elemente; Empfindung: Orange.

Das einfache Gelb (Wellenlänge 590 $\mu\mu$, Linie D) erregt mässig stark die rothen und grünen, schwach die violeten Elemente; Empfindung: Gelb.

Das einfache Grün (Wellenlänge 527 $\mu\mu$, Linie E) erregt sehr stark die grünen, relativ schwach die rothen und violeten Elemente; Empfindung: Grün.

Das einfache Blau erregt die violeten Elemente sehr stark, die grünen etwas weniger stark, schwach die rothen; Empfindung: Blau.

Violet (nach Wünsch-Young-Helmholtz: Das einfache Violet (Wellenlänge 430 bis 396 $\mu\mu$, G bis H) erregt die violeten Elemente stark, die grünen schwach, die rothen sehr schwach; Empfindung: Violet.

Erregung aller Elemente von ziemlich gleicher Stärke gibt die Empfindung von Weiss oder weisslicher Farben.

In Figur 15 sind diese Vorstellungen nach der Helmholtz'schen Figur graphisch veranschaulicht.

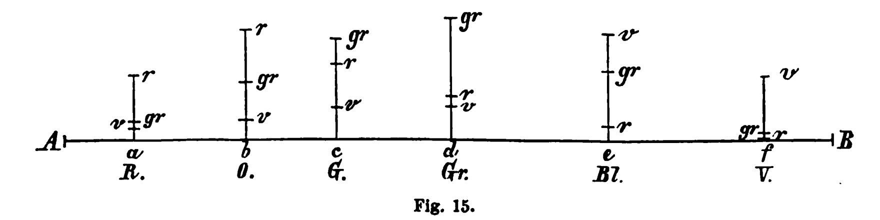


Fig. 15.

Auf der Abscisse AB zeigen die rechtwinkeligen Ordinaten an, in welcher Stärke an jedem Orte des Spectrums die drei Elemente erregt werden. Im Roth (R.) ist die Grösse der Erregung der rothen Elemente durch ar, die der grünen durch agr, jene der violeten durch av gekennzeichnet. Im Gelb (G.) zeigt uns cgr die Erregungsstärke der grünen, cr jene der rothen und cv die der violeten Elemente an u. s. w. Zieht man von A aus eine Curve durch das r aller Ordinaten bis nach B, so erhält man die Curve für die Erregung der rothempfindenden Elemente im Spectrum. Aehnlich ist die Curve für Grün (gr), sowie für Violet (v) zu construiren.

König und Dieterici (1886) haben dieses Schema insofern geändert, als sie eine rothe Endstrecke (reichend bis zur Linie C) und eine violete Endstrecke (reichend von G bis H) ganz im Gegensatze zu den neuen Urfarben v. Helmholtz annehmen, in welchen Endstrecken nur Unterschiede der Helligkeit, aber keine des Farbentons von der Mehrzahl der Augen wahrgenommen werden, so dass erst bei C die Grün- und Violetcurve beginnt und bei G die Roth- und Grün-Curve aufhört.

Mit Bezug auf seine neue Theorie sagt v. Helmholtz, dass jede Spectralfarbe sämmtliche drei Urfarben in mässigen Stärken erregt. Im spectralen Roth ist 0·6 Urroth + 0·2 Urgrün + 0·2 Urblau; im spectralen Violet: 0·4 Urblau + 0·35 Urroth + 0·25 Urgrün; im Weiss sind die 3 Urfarben in gleichen Stärken.

Erklärung der Farbenblindheit.

Bereits Thomas Young hat (1807) bei Besprechung des Falles von Dalton (s. oben pag. 141) die Ansicht entwickelt, dass die Voraussetzung des rothblinden Dalton, es wäre seine Farbenblindheit durch eine blaue Färbung des Glaskörpers bedingt, hinfällig, dass es vielmehr das Einfachste sei, anzunehmen, dass die „Fasern“ der Retina, welche für die Empfindung des Roth bestimmt sind, fehlen oder gelähmt seien.

Diese Anschauung hat sich bis in unsere Tage erhalten. Die Dichromatopie wird bedingt durch das Fehlen Einer Faserart, die Achromatopie durch das Fehlen zweier Faserarten.

Man spricht sogar heute noch mit Young von den verschiedenen „Faser"arten, wenngleich man weiss, dass die Nervenfasern keine Farben empfinden, sondern nur die farbige Erregung der Sehelemente (Zapfen und Stäbe) weiter leiten.

Holmgren, der die Massenuntersuchung auf Farbenblindheit zuerst vorgenommen, stellt sich vollständig auf den Standpunkt der eben entwickelten Theorie. Die Farbenblindheit ist nach ihm zu classificiren:

I. Totale Farbenblindheit — es wird keine Farbe gesehen.

II. Partielle Farbenblindheit und zwar:

1) Vollständige partielle (der Ausdruck: „vollständig partiell" scheint mir doch etwas misslich) Farbenblindheit, die, je nachdem das eine oder das andere der drei farbenempfindenden Netzhautelemente fehlt, sein kann:

a) Rothblindheit,

b) Grünblindheit,

c) Violetblindheit,

wofür man mit griechischen Worten Anerythropsie, Achloropsie, Anianthinopsie (Warlomont) gesetzt hat.

2) Unvollständige partielle Farbenblindheit, „bei der ein oder alle drei Elemente an Reizbarkeit oder Zahl schwächer sind als die des normalen Farbensinns".

Um nach der Dreifaserntheorie die Symptome der „vollständigen" partiellen Farbenblindheit zu deduciren, braucht man nur in Figur 15 auf allen Ordinaten r (für Rothblindheit) oder gr (für Grünblindheit) oder v (für Violetblindheit) wegzustreichen und dabei festzuhalten, dass, da die Erregung sämmtlicher Faserarten im Normalauge die Weissempfindung erzeugt, auch bei Mangel Einer Faserart die Erregung sämmtlicher Faserarten, d. i. der zwei übriggebliebenen zur Weissempfindung führt, so dass also bei Rothblindheit die gleich starke Erregung der grünen und violeten, bei Grünblindheit jene der rothen und violeten und bei Violetblindheit die der rothen und grünen Fasern die Weissempfindung bedingt und demnach im Spectrum an jener Stelle, an welcher die gleichstarke Erregung der noch vorhandenen zwei Faserarten nach der graphischen Darstellung zu Stande kommt, ein weisser (grauer) Streifen sich findet. Im Spectrum

(Roth und Grünblinde) an jener Stelle reines Gelb empfinden. v. Helmholtz erklärt, dass seine neuen Urfarben (1892) mit den Grundfarben von König und Dieterici nicht übereinstimmen und dass die Vorstellung, „dass bei den Dichromaten einfach eine der Grunderregungen fehlt, mit dem bezeichneten Ergebniss in Widerspruch tritt". Nach v. Helmholtz ist eine allgemeine Hypothese über das Wesen der Dichromatopie möglich, bei welcher die Nothwendigkeit aufhört, dass die fehlende Farbe eine der Grundfarben sei.

Unter solchen Umständen, denke ich, hätte Thomas Young selbst seine Theorie schon fallen gelassen, da „gar zu viele Phänomene der Farbenblindheit mit derselben als unverträglich sich erwiesen haben".

Ich kann jedoch die Dreifarben-Lehre nicht verlassen, ohne noch der Theorie Delboeuf's zu gedenken. Delboeuf's Theorie der Farbenblindheit gründet sich auch anf eine Aenderung in der Erregbarkeit der Netzhaut durch Licht verschiedener Farbe, und wiewohl Delboeuf selbst die anfänglich festgehaltene Young'sche Theorie später verlassen hat, so lässt sich doch seine Theorie an der Hand der Dreifaserntheorie ganz gut erläutern. Die Rothblindheit entsteht dadurch, dass die rothempfindenden Fasern zwar normal-, die grün- und violetempfindenden hingegen überempfindlich sind. Sieht Delboeuf, der selbst rothblind ist, durch eine (rothe) Fuchsinlösung von bestimmter Dicke, so geschieht es, dass nunmehr sehr viel rothes, aber wenig grünes und violetes Licht hindurchgeht, und dass nunmehr, indem die überempfindlichen Fasern schwächer erregt werden, als die normalempfindlichen rothen, jene Gleichmässigkeit in der Erregung der drei Faserarten zu Stande kommt, wie sie im Normalauge existirt und wie sie den normalen Farbensinn begründet. Wenn andererseits ein Normalauge durch eine (grüne) Nickelchlorürlösung von bestimmter Concentration und Dicke hindurchschaut, so wird durch die Uebererregung der grünempfindenden Fasern Rothblindheit erzeugt werden können. Als Spring, der normalen Farbensinn besitzt, letzteres that, verhielt er sich wie ein Rothblinder; andererseits bildete sich Delboeuf ein, dass er durch eine Fuchsinlösung hindurch (und später sogar ohne Fuchsinlösung!) die Farben des Normalauges sehe. Dass wir uns durch farbige Medien in gewissem Sinne

farbenblind machen können, wurde schon oben (pag. 56) auseinandergesetzt; dass es sich aber bei Delboeuf um einen Irrthum und nur um die schon so oft besprochenen Helligkeitsunterschiede handelt, liegt umsomehr auf der Hand, als Delboeuf selbst gesteht, dass es ihm durchaus nicht gelungen ist, sein dichromatisches Spectrum durch eine Fuchsinlösung in ein polychromatisches umzuwandeln. Damit fällt aber auch seine Theorie.

Die Vierfarben-Theorie.

Hering's Farbenlehre haben wir unseren einleitenden Erörterungen über den Farbensinn zu Grunde gelegt. Die Physiologie der Farbenempfindung stellt sich Hering so vor. Die Sehsubstanz ist gleichsam ein Gemisch dreier chemisch verschiedener Substanzen, von welchen die eine als die schwarzweissempfindende oder schwarzweisse, die zweite als rothgrünempfindende oder rothgrüne, die dritte endlich als die blaugelbempfindende oder blaugelbe bezeichnet werden kann. Jede dieser drei chemischen Substanzen kann wenigstens innerhalb gewisser Grenzen verbraucht werden und sich wieder erzeugen, jede derselben vermag unabhängig von den beiden anderen „zu dissimiliren und zu assimiliren". Die Dissimilirung der schwarzweissen Sehsubstanz ruft die Empfindung des Weiss, die Assimilirung derselben jene des Schwarz hervor. Für die rothgrüne und blaugelbe Substanz lässt Hering vorläufig unentschieden, welche Farbe die D-(Dissimilirungs-)Farbe und welche die A-(Assimilirungs-)Farbe sei. Nehmen wir z. B. an, Roth und Blau seien D-Farben, so heisst das: Durch Verbrauch der rothgrünen Substanz wird die Rothempfindung, durch deren Regenerirung die Grünempfindung erzeugt; durch Verbrauch der blaugelben Substanz entsteht die Blau-, durch deren Wiederersatz die Gelbempfindung. Alle Strahlen des sichtbaren Spectrums wirken dissimilirend auf die schwarzweisse Substanz, aber die verschiedenen Strahlen in verschiedenem Grade, d. h. alle Strahlen des Spectrums würden, wenn es keine rothgrüne und keine blaugelbe Sehsubstanz gäbe, eine weisse Lichtempfindung hervorrufen; das Spectrum der schwarzweissen Substanz ist am weissesten und hellsten im Gelb und nimmt nach beiden Seiten an Helligkeit ab. Auf die rothgrüne und blau-

gelbe Substanz wirken jedoch nur gewisse Strahlen dissimilirend, gewisse andere assimilirend und gewisse Strahlen gar nicht. Die rothgrüne Substanz wird weder durch blaues, noch durch gelbes Licht, die blaugelbe weder durch rothes noch durch grünes Licht afficirt. Allen Lichtstrahlen kommt also eine weisse Valenz zu, d. h. alle Lichtstrahlen vermögen die Weissempfindung zu fördern. Ausserdem aber besitzen die einzelnen Strahlenarten verschiedene farbige Valenzen. Es hat daher jede der drei Substanzen gleichsam ihr besonderes Spectrum. In das Spectrum der schwarzweissen Substanz sind die Spectra der rothgrünen und blaugelben Substanz eingelagert. Nur das Spectrum der farblosen Substanz ist continuirlich, die Spectra der farbigen Substanzen sind dagegen discontinuirlich. Das Spectrum der rothgrünen Substanz zeigt in der Mitte Grün, rechts und links davon (im reinen Gelb und reinen Blau) eine lichtlose Lücke, worauf an beiden Enden Roth folgt. Das Spectrum der blaugelben Substanz zerfällt in einen blauen und gelben Abschnitt, welche durch eine dem reinen Grün entsprechende Lücke getrennt sind. Das Totalspectrum der Sehsubstanz hätte daher vier physiologisch ausgezeichnete Punkte (nämlich diejenigen, wo ausser Weiss nur Eine Grundfarbe sichtbar ist, das ist im reinen Roth, Gelb, Grün, Blau), wenn nicht das Roth im Spectrum, selbst das äusserste, mit Gelb gemischt wäre. An den übrigen Stellen des Spectrums finden sich ausser Weiss zwei Grundfarben: Rothgelb (Orange), Gelbgrün, Grünblau, Blauroth (Violet).

Findet in der schwarzweissen Substanz gleichzeitig Dissimilirung und Assimilirung statt, so mischt sich die Weiss- und Schwarzempfindung zur Empfindung von Grau. Findet dagegen in der rothgrünen oder blaugelben Substanz gleichzeitig durch rothes und grünes, beziehungsweise durch blaues und gelbes Licht gleichstarke Dissimilirung und Assimilirung statt, so heben sich beide Momente gegenseitig auf und es tritt die Wirkung der farbigen Strahlen nur durch Dissimilirung der schwarzweissen Substanz als reine Weissempfindung hervor. Die sogenannten complementären Lichtarten sind also nicht complementär, sondern antagonistisch; sie mischen sich nicht zu Weiss, sondern lassen nur das Weiss hervortreten, weil sie sich aufheben.

In Betreff der Farbenblindheit muss man nach Hering sagen: Fehlen der rothgrünen und der gelbblauen Substanz be-

dingt totale Farbenblindheit. Hering's Theorie erklärt die wahre Achromatopie, während nach der Young'schen Theorie der Achromatop eigentlich ein Monochromatop ist. Fehlt die rothgrüne Substanz allein, dann entsteht Rothgrünblindheit; eine gesonderte Roth- und Grünblindheit gibt es nicht. Die etwas differirenden Erscheinungen der „Rothblindheit" und „der Grünblindheit" sind nach Hering abhängig von dem Maasse der Pigmentirung der Macula lutea und der Linse und von den individuellen Verschiedenheiten der Weissschwarz- und der Gelbblauempfindung. Fehlt die blaugelbe Substanz, so ist Blaugelbblindheit gesetzt.

Eigene Theorie.

So sehr ich im Allgemeinen der Hering'schen Theorie huldige, so bedarf sie doch für die Erklärung der Dichromatopie einer wesentlichen Modification, denn einfach durch das Fehlen der rothgrünen Substanz kann die Rothgrünblindheit nicht erklärt werden. Es müsste im Spectrum des Rothgrünblinden, wenn nicht im äussersten Roth, so doch im ganzen Grün ein weisser (grauer) Streifen sein. Thatsächlich aber kann beim Rothgrünblinden vom äussersten Roth durch Gelb und Grün bis ins Grünblau eine sehr ausgesprochene Farbenempfindung vorhanden sein und die neutrale Linie liegt nicht im Grün, sondern im Blaugrün. Andererseits würde die mitunter sehr bedeutende Verkürzung des Spectrums durch einfaches Fehlen der rothgrünen Substanz nicht erklärt, da, damit dies möglich sei, nicht bloss ein Defect in der schwarzweissen Substanz, sondern auch ein Defect in der gelbblauen Substanz da sein müsste, indem Theile des Spectrums, die schon viel Gelb enthalten, unsichtbar sind. In der That ist Hering genöthigt, auch einen Defect in der gelbblauen Substanz bei solchen Rothgrünblinden anzunehmen.

Ich erkläre die Farben„blindheit" nach Hering so. Bei der Achromatopie findet sich in der Netzhaut nur eine schwarzweisse Sehsubstanz. Dieselbe kann entweder durch alle Strahlen des Spectrums dissimilirt werden, oder aber nur durch Strahlen bestimmter Brechbarkeit, während andere ohne jede Wirkung auf die Substanz sind. Das Spectrum zeigt demnach nur verschiedene Nuancen von Weiss, ist entweder unverkürzt, oder an dem einem oder andern Ende oder an beiden Enden verkürzt.

Bei der Dichromatopie findet sich in der Netzhaut eine schwarzweisse und Eine farbige Sehsubstanz. Auf diese farbige Substanz wirkt bei der Xanthokyanopie (Rothgrünblindheit) das rothe, gelbe und grüne Licht dissimilirend, das blaue assimilirend. Die Dissimilirungsfarbe ist Gelb, die Assimilirungsfarbe ist Blau. Am stärksten dissimilirend wirkt das gelbe Licht, weniger stark das rothe und das grüne; in der einen Reihe der Xanthokyanopen das rothe wieder stärker als das grüne, in einer zweiten Reihe das grüne stärker wie das rothe. Diese Annahme ist nichts Merkwürdiges. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass ein ähnlicher Unterschied in dem Gewicht von Roth und Grün auch bei den Farbentüchtigen vorkommt. Lord Rayleigh (1881) und Donders (1884) haben dies gefunden. Es gibt Augen, welche, um aus Spectralgrün und Spectralroth Spectralgelb zu mischen, 3mal weniger Grün brauchen als die gewöhnlichen Normalaugen. Gegen Strahlen von gewisser Wellenlänge (des rothen Spectrumendes) kann sowohl die farbige als die schwarzweisse Substanz unempfindlich sein. In analoger Weise würde sich in der Netzhaut des Erythrochloropen (Gelbblaublinden) ausser der schwarzweissen Substanz Eine farbige Substanz finden, welche durch rothes, gelbes und blaues Licht dissimilirt, durch grünes Licht assimilirt würde. Die D-Farbe ist Roth, die A-Farbe ist Grün. Strahlen von gewisser Wellenlänge (vom blauen Spectrumende) vermögen mitunter weder die farblose noch die farbige Substanz des Erythrochlorops zu erregen. Für jene Form der Erythrochloropie bei welcher Blau grün gesehen wird, wird die eine farbige Substanz durch Roth und Gelb dissimilirt, durch grünes und blaues Licht assimilirt. Die D-Farbe ist wieder Roth, die A-Farbe wieder Grün.

Gleichzeitige gleichstarke Dissimilirung und Assimilirung der Einen farbigen Substanz hebt sich gegenseitig auf und nur die Wirkung auf die farblose Substanz tritt hervor. Es wird demnach der Xanthokyanops nicht bloss bei Einwirkung von Gelb und Blau, sondern auch bei Einwirkung von Roth und Blau, sowie von Grün und Blau unter Umständen Grau sehen. Es wird ihm demnach ein gewisses Purpur und ein gewisses Blaugrün Grau erscheinen.

Da aber die Dissimilirungsfähigkeit der farbigen Substanz bei verschiedenen Xanthokyanopen verschieden ist, so wird ein und dasselbe Purpur und ein und dasselbe Blaugrün dem einen Xanthokyanopen Grau, dem zweiten Blau, dem dritten endlich Gelb erscheinen. Dies entspricht vollkommen der Erfahrung, und von einer regel- und planlosen Verwechslung der Farben bei Xanthokyanopie, wie Solches noch neuerlich behauptet wurde, kann hier keine Rede sein. Auf das verschiedene Erscheinen der genannten Mischfarben, je nach ihrem Gehalte an Blau und „Gelb", hat schon Stilling aufmerksam gemacht. Es gibt demnach, „wenn man die Farbenblindheit, wie dies schon Holmgren angedeutet hat, nach denjenigen Farben eintheilt, welche mit reinem Weiss oder Grau verwechselt werden" (Leber), weder eine Rothblindheit, noch eine Grünblindheit (Helmholtz, Holmgren u. A.); es gibt weder eine Roth-Blaugrün-, noch eine Grün-Purpurblindheit (Leber); es gibt aber auch keine Roth-Grün-Blindheit (Hering, Stilling), — sondern es gibt nur eine Purpur-Blaugrün-Blindheit. Ebenso wäre die erste Art der Gelb-Blau-Blindheit als Gelbgrün-Blaugrün-Blindheit aufzufassen, denn das reine Gelb und Blau sieht der Erthrochlorops Roth, sowie der Xanthokyanops das reine Roth und Grün Gelb sieht.

In der Peripherie der normalen Netzhaut scheint sich auch nur Eine farbige Substanz zu finden, die sich der farbigen Substanz des Xanthokyanopen analog verhält. Es wird über diesen Gegenstand noch in der Lehre vom Gesichtsfelde gehandelt werden.

Nomenclatur der Farbenblindheit.

Von allen Theorieen abgesehen, würde es im Interesse der Sache vielleicht liegen, die von mir gewählte Nomenclatur anzunehmen, weil sie eben keiner Theorie präjudicirt. Aus diesem Grunde hat auch Delboeuf in neuerer Zeit vorgeschlagen, das Wort „Daltonismus" wieder in die Wissenschaft einzuführen. Das Wort rührt bekanntlich davon her, dass Dalton (der englische Physiker) „rothblind" war und die Erscheinungen der Farbenblindheit, so vor Allem die der Dichromasie des Spectrums

zuerst (1794) beschrieb. Damit wäre freilich wenig gedient, wenn man einfach alle Arten der sogenannten Farbenblindheit Daltonismus nennen würde. Wenn man aber den Erscheinungen Rechnung trägt, so gelangt man ohne Rücksicht auf irgend eine Theorie zu der von mir gewählten Eintheilung der Störungen des Farbensinns.

Der nach Qualität und Quantität normale Farbensinn ist characterisirt durch die Ausdrücke: Polychromatopie[1]) und Euchromatopie (Poly-Euchromatopie). Der Farbensinn kann qualitative und quantitative Aenderungen erfahren.

Die bisher sicher erkannten qualitativen Aenderungen sind:

1) Achromatopie: Das Spectrum erscheint farblos.

2) Dichromatopie: Das Spectrum erscheint zweifarbig. Die Dichromatopie selbst scheidet sich in:

a) Die Xanthokyanopie (ξανθός, gelb; κυάνεος, blau). Das Spectrum ist Gelb und Blau.

b) Die Erythrochloropie (ἐρυθρός, roth; χλωρός, grün). Das Spectrum ist Grün und Roth.

Die quantitativen Störungen des Farbensinns sind als Dyschromatopie zu bezeichnen. Sowohl das poly-, als das dichromatopische Auge kann eu- und dyschromatopisch sein.

Seit dem Jahre 1879, in welchem ich die Grundzüge der vorgetragenen Farbenlehre entwickelte, sind manche Thatsachen von anderer Seite veröffentlicht worden, welche eine vollkommene Bestätigung meiner Anschauungen bedeuten. Besonders wichtig sind drei Arbeiten, welche alle im Jahre 1881 erschienen. Der einseitig Farbenblinde v. Hippel's bestätigt in klassischer Weise die Thatsache, dass die Rothgrünblindheit Gelbblausichtigkeit ist. Die Farben im Radde'schen Index erscheinen ihm wirklich so, wie sie der Xanthokyanop (pag. 73) angegeben. Die Blaugrün und Purpur sind grau, der Anfang der Tafel bis zum Blaugrün und das Ende des Index mit den Carminfarben sind gelb und von den grauen Farben

---

[1]) Es heisst im Griechischen zwar: μυώψ und ἀμβλώψ, aber nicht μυωψία αμβλυωψία, sondern μυωπία, ἀμβλυωπία.

links und rechts begrenzt finden sich die blauen. Ebenso bestätigen sich alle Angaben über die Contrastfarben, was um so bemerkenswerther ist, als statt der Simultancontraste der successive Contrast (der Nachbilder) geprüft wurde. Die farblose Trennungslinie liegt, obschon es sich um einen Xanthokyanopen mit unverkürztem Spectrum, also um einen „Grün"-blinden handelt, nicht im Grün, wie dies sowohl die Theorie von Young, als auch die Theorie von Hering erfordert, sondern im Blaugrün, wie es nach meiner Anschauung für alle Xanthokyanopen sein muss. Die Berechtigung, Roth- und Grünblinde zu trennen, hat übrigens auch schon dadurch einen Stoss erlitten, dass die von König (1884) abgegebene Erklärung, dass die Neutrale der Roth- und Grünblinden nicht differirt, von v. Helmholtz (1889) acceptirt wurde. In der That ist, so sagt v. Helmholz, die Wellenlänge der weiss erscheinenden Spectralfarbe kein scharfes Merkzeichen für den Unterschied beider Klassen.

In demselben Jahre 1881, nur etwas vor der Publikation v. Hippel's, ist Donders[1]) zu dem Resultate gelangt, dass Blaugrün und Purpur (Rosa) die Neutralen des Farbenblinden sind und dass daher die Farbenblinden nur bei Verwendung blaugrüner und purpurener Gläser keine farbigen Schatten erhalten. (Vgl. oben pag. 70). Und Preyer[2]) geht noch weiter. Er erklärt die Farbenblindheit für Gelbblau- und Rothgrünsichtigkeit, offenbar ohne zu wissen, dass ich zwei Jahre vor ihm dieselben Ausdrücke bereits eingeführt und begründet hatte.

Uebrigens hat 1880[3]) auch Hering gefunden, dass Farben, die der Xanthokyanop grau nennt, dem Farbentüchtigen als Blaugrün und Purpur erscheinen können und v. Helmholtz bezeichnet die Neutralen als Blaugrün und als ein Roth, das vielleicht ein wenig nach der Seite des Purpur abweicht[4]).

Ich habe früher (pag. 113) auseinandergesetzt, dass durch die genaue Beobachtung eines Gelbblaublinden mit unverkürztem

---

[1]) Graefe's Archiv. 27. 1. p. 155. 1881.
[2]) Pflüger's Archiv. 25. Band. 1881.
[3]) Zur Erklärung der Farbenblindheit, pag. 27 und 28, 1880.
[4]) Phys. Optik, 5. Heft 1889, pag. 365 (1. Auflage pag. 297).

Spectrum festgestellt werden könnte, welche von den beiden Theorien unzweifelhaft unrichtig ist. Denn nach der Dreifarben-Theorie kann der Violet-(Blau-)Blinde nur Eine neutrale (graue) Linie im Spectrum haben, während durch das Vorkommen zweier Neutralen die Unrichtigkeit der Dreifarbentheorie in ihrer bis 1892 bestandenen Gestaltung unbedingt erwiesen wäre. Andererseits müsste in einem solchen Falle auch dargethan werden können, ob, wenn man die Vierfarbentheorie zu Grunde legt, die Auffassung Hering's oder die meinige richtig ist. Denn besteht eine Gelbblaublindheit im Sinne Hering's, dann müssen die beiden Neutralen im reinen Gelb und reinen Blau gelegen sein, während diese Linien nach meiner Theorie im Gelbgrün und Grünblau ihren Sitz haben müssten.

Nun hat Gottlieb Hermann im Jahre 1882 eine Inauguraldissertation, betitelt: „Ein Beitrag zur Casuistik der Farbenblindheit", zu Dorpat publicirt, in welcher der 7. Fall (pag. 43) die Frage, wie der Gelbblaublinde das violete Ende des Spectrums sieht, allerdings nicht zur Entscheidung bringt, da das Violet als Violet und sein äusserstes nur wenig verkürztes Ende als weissliches Grau bezeichnet wird, so dass das Spectrum im Ganzen als Roth, Grün und Violet erscheint; trotzdem aber ist der Fall ein solcher, dass derselbe der Dreifarbentheorie äusserst verderblich wird, weil sich im Spectrum zwei Neutralen (die eine zwischen Roth und Grün, die zweite zwischen Grün und Violet) fanden.

Hermann hebt (pag. 52) ausdrücklich hervor, dass ein Irrthum von Seite des Untersuchten gänzlich ausgeschlossen ist. Die erste Neutrale liegt aber nicht im reinen Gelb in der Linie D (mit der Wellenlänge 589,625 bis 589,023 $\mu\mu$), sondern im Gelbgrün zwischen den Wellenlängen 588 und 585 $\mu\mu$, bei objectiver Darstellung der Farben zwischen 587[1]) und 583 $\mu\mu$. Die zweite Neutrale ist nicht im reinen Grün (das bei der Linie E mit Wellenlänge 526,990 beginnt), sondern im Blaugrün zwischen den Wellenlängen 500 und 495 $\mu\mu$, bei objectiver Darstellung der Farben zwischen den Wellenlängen 495 und 480 $\mu\mu$. Dieser Fall ist eine mächtige Stütze für die modificirte Vierfarbentheorie.

---

[1]) Im Text findet sich bei Hermann (pag. 45) ein Druckfehler. Es steht dort irrthümlich, aber für Jedermann kenntlich: „597" statt „587".

Schlussbemerkungen.

Ich schliesse mit der Vorführung der Resultate zweier Arbeiten, die im Mai 1894 erschienen sind. James Wallace sagt [1]: Die Netzhaut besitzt Zapfen von verschiedener Länge. Die Farbenempfindung wird bestimmt durch den Bau der Zapfen, deren Länge eine allmälige Abstufung bildet entsprechend den Abstufungen der Wellenlängen des Lichts von Roth bis Violet. Die längsten Coni sind für die Empfindung des Roth, die kürzesten für jene des Violet bestimmt. Fehlen die längsten Coni, dann besteht Rothblindheit; fehlen die kürzesten: Violetblindheit. Die „gelben" Coni, kürzer als die rothen, fehlen nie, ebensowenig die blauen Coni (die kurz, aber nicht die kürzesten sind). Daher ist Gelbblindheit ebenso unbekannt, wie Blaublindheit. Fehlen die längsten (rothen) sowie die kürzesten (violeten) Coni, dann bleiben nur die gelben und blauen übrig. Werden beide durch grünes Licht erregt, dann werden alle Elemente in Schwingung versetzt; der Effect ist weiss. Das ist die Grünblindheit. Es gibt also nur zwei Arten von Farbenblindheit: Rothblindheit, bedingt durch das Fehlen der längsten Zapfen und Grünblindheit, bedingt durch das gleichzeitige Fehlen der längsten und der kürzesten Zapfen.

Arthur König und Joh. Zumft haben nunmehr über Experimente berichtet [2], welche diese von ihnen nicht gekannte Anschauung von Wallace (Wallace selbst wurde sie nahegelegt durch William F. Norris) in merkwürdiger Weise zu bestätigen scheinen. Wenn die Empfindung an der Grenzfläche zwischen Innen- und Aussenglied des Zapfens oder am chorioidealen Ende des Zapfenstäbchens stattfindet, so muss die lichtempfindende Schichte in den langen rothen Zapfen weiter nach rückwärts von den Netzhautgefässen liegen, als in den kürzeren blauen, in diesen wieder weiter nach rückwärts als in den kürzesten violeten Zapfen. König und Zumft haben in der That

[1] The physical and physiological basis of color, in University Medical Magazine, Philadelphia, May 1894.

[2] Ueber die lichtempfindliche Schicht in der Netzhaut des menschlichen Auges. Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften (phys.-math. Classe) 24. Mai 1894.

gefunden, dass der Schatten der Netzhautgefässe, daher die Perception um so weiter nach rückwärts in der Netzhaut (um so mehr chorioidealwärts) liegt, je grösser die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist. Die Perception des weissen Lichtes erfolgt ungefähr an jener Stelle, an welcher die Perception des Lichtes von der Wellenlänge 535 $\mu\mu$ (Gelbgrün) stattfindet. Wenn König und Zumft glauben, dass diese Experimente mit der Young-Helmholtz'schen Farbentheorie in vollem Einklang stehen und als eine neue Stütze derselben angesehen werden können, so kann ich dem nicht beistimmen. Auf den ersten Anblick scheinen durch dieselben vor Allem die anatomischen Anschauungen von Norris und Wallace gestützt zu werden. Denkt man aber ein wenig nach, so müsste man zu dem Schlusse gelangen, dass alle Farben, auch das Weiss, in denselben Elementen der Netzhaut, nur in verschiedener Tiefe derselben, empfunden werden.

NAME	DATE DUE

